

Anexo II – Exemplo de uso de geoprocessamento:

Modelagem digital da bacia

A escolha do local para a construção de uma estação de tratamento de esgotos (ETE) pode fazer uso de técnicas de geo-processamento, a partir dos dados de topografia (curvas de nível) e uso do solo.

O texto a seguir ilustra tal procedimento em uma pequena bacia, onde se insere o loteamento de nome Sítio Joaninha, no Município de Diadema, na região Metropolitana de São Paulo, local objeto de estudos anteriores realizados pelo LabHab da FAU USP.

As fontes de dados para o procedimento utilizado foram:

- Arquivo DWG (AutoCAD drawing), intitulado diadema.dwg, fornecido pela Prefeitura do Município de Diadema, no sistema de projeção UTM 23S sobre o South American Datum 1969 (SAD 69), contendo, dentre outras feições, curvas de nível de 5m e hidrografia;
- Contorno da bacia, desenhado pela equipe do LabHab da FAU USP, intitulado limite_microbacia_joaninha.dwg, exportado a partir de uma camada (layer) distinta, sobre o desenho das curvas de nível, do arquivo acima citado;

Cabe observar que existem outras fontes, além das prefeituras, para se obter desenhos de microbacias, como por exemplo, a Secretaria do Estado da Agricultura e Abastecimento de São Paulo, por meio da CATI – Coordenadoria de Assistência Técnica Integral.

- Mapa de Uso do Solo, em 2002, da Emplasa, em um conjunto de arquivos ESRI Shapefile, no sistema de projeção UTM 23S sobre o datum Córrego Alegre;

Os principais aplicativos de software empregados foram:

- AutoCAD da empresa Autodesk
- ArcGis (ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, etc.) da empresa ESRI

Descrição detalhada do procedimento utilizado

O arquivo diadema.dwg foi aberto no aplicativo AutoCAD. Todos os layers, com exceção daqueles associados ao desenho das curvas de nível e hidrografia foram congelados. Os demais foram exportados, também como arquivo DWG, intitulado diadema_p02.dwg, por meio do comando wblock do aplicativo AutoCAD.

Os passos descritos a seguir estão indicados em cinco diagramas, da Figura XX-1 à Figura XX-Y.

Às feições existentes no arquivo diadema_p02.dwg, foi adicionado o contorno da microbacia onde se localiza o loteamento Joaninha, pela inserção do arquivo limite_microbacia_joaninha.dwg. A Figura 1 mostra o arquivo final contendo o contorno da microbacia, as curvas de nível, a represa e seus contribuintes em vista de topo.

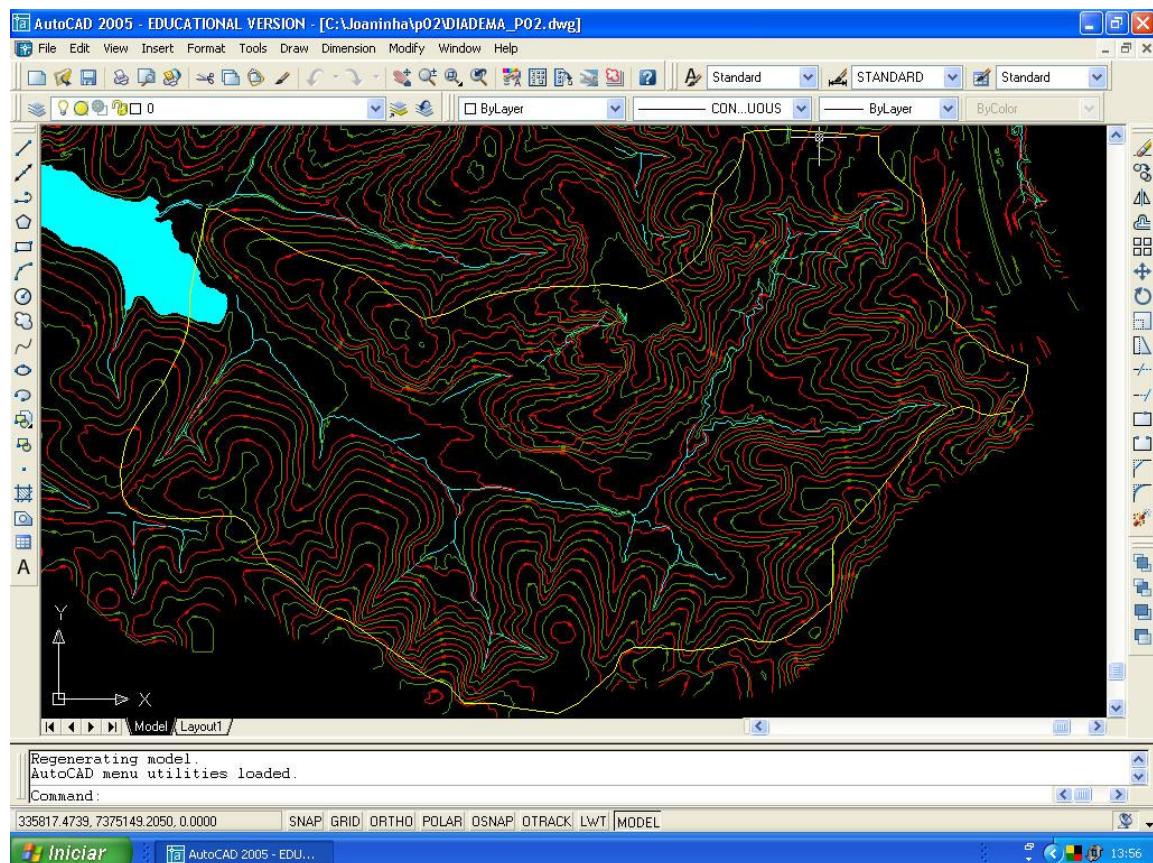


Figura 1 – curvas de nível, hidrografia e contorno da microbacia.

O desenho de curvas de nível é uma das formas que se emprega para a análise da topografia de um local. Trata-se de um exemplo de geometria cotada, de desenho bidimensional com o uso de isolinhas associadas a diferentes cotas escritas.

Na computação gráfica, pode-se fazer uso de outros recursos de representação, mesmo que se disponha apenas das curvas de nível. Pode-se iniciar por colocar cada curva na cota correta (dimensão z igual à cota de cada curva).

Ao alterar a vista do usuário para uma elevação pôde-se observar, conforme mostra a Figura 2, que as curvas de nível já estavam posicionadas segundo suas cotas, enquanto que as margens da represa Billings e a toponímia das curvas de nível não.

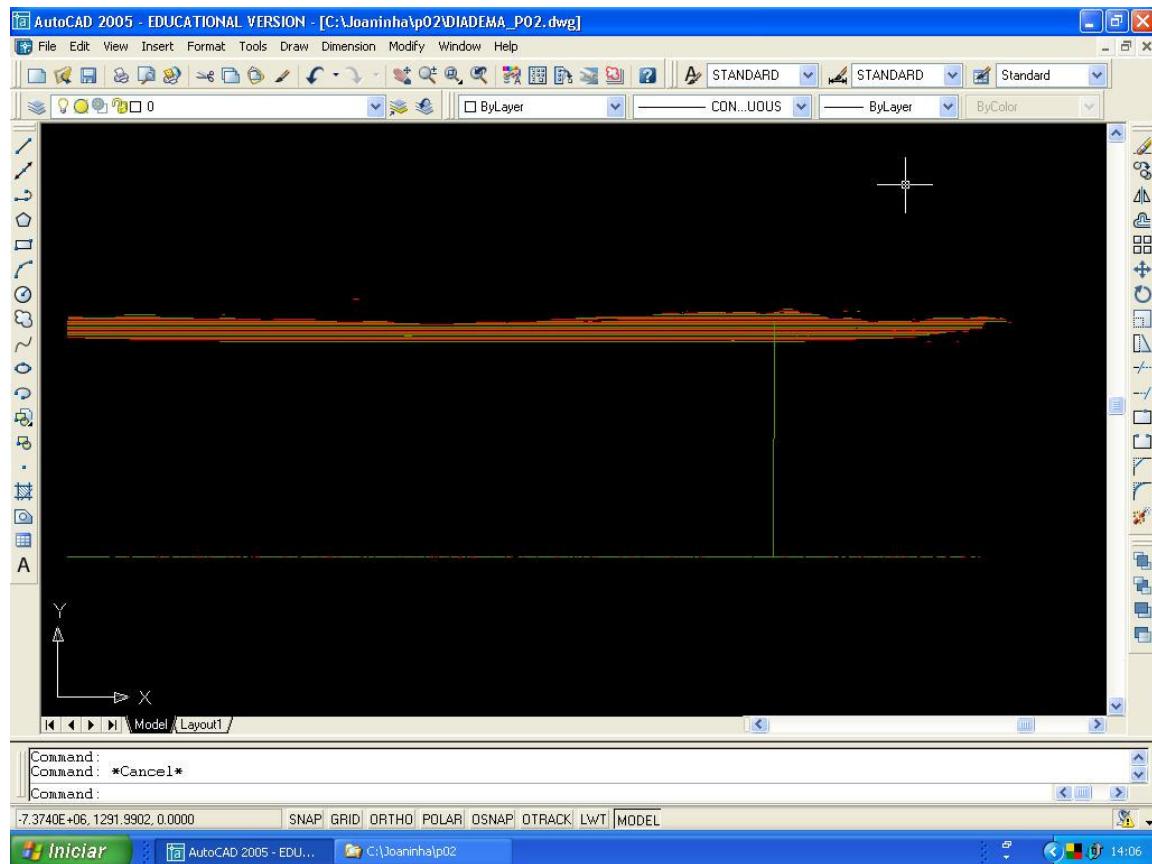


Figura 2 – curvas de nível na cotas certas, margens da represa Billings não.

A primeira providência foi de colocar as margens da represa Billings na cota 747 m, indicada no desenho.

Uma providência adicional foi a de atribuir um *layer* novo a cada cota e associar cada linha ao *layer* novo da cota correspondente. Foram criados 24 (vinte e quatro) *layers*, uma para a cota 747 m e, as demais, para as cotas 750 m a 860 m. A Figura 3 mostra o processo de transferência das curvas de nível dos *layers* originais (em cores) para os *layers* de cada cota (originalmente na cor branca).

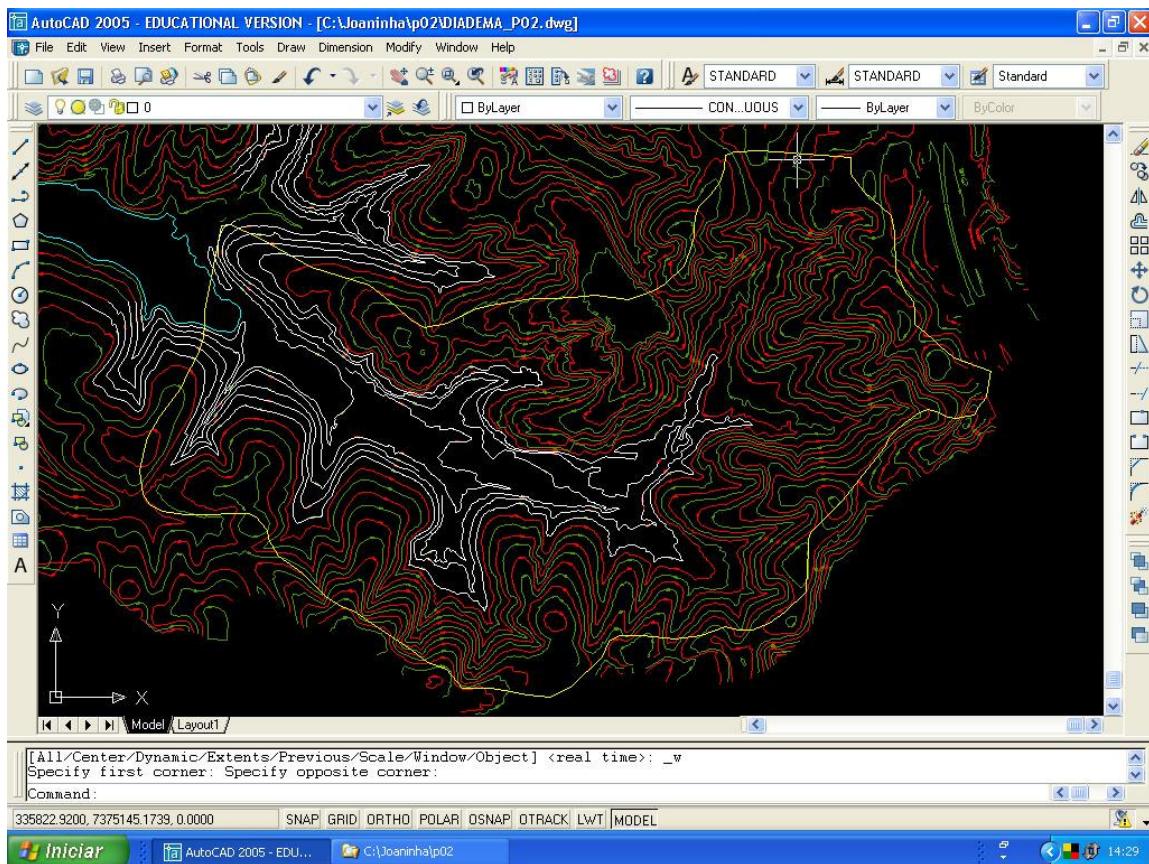


Figura 3 – seleção de curvas de nível e transferência para *layer* associado a cada cota

Durante a seleção das linhas para transferência ao *layer* correspondente a sua cota, verificou-se alguns erros, conforme mostra a Figura 4, os quais tiveram que ser corrigidos manualmente.

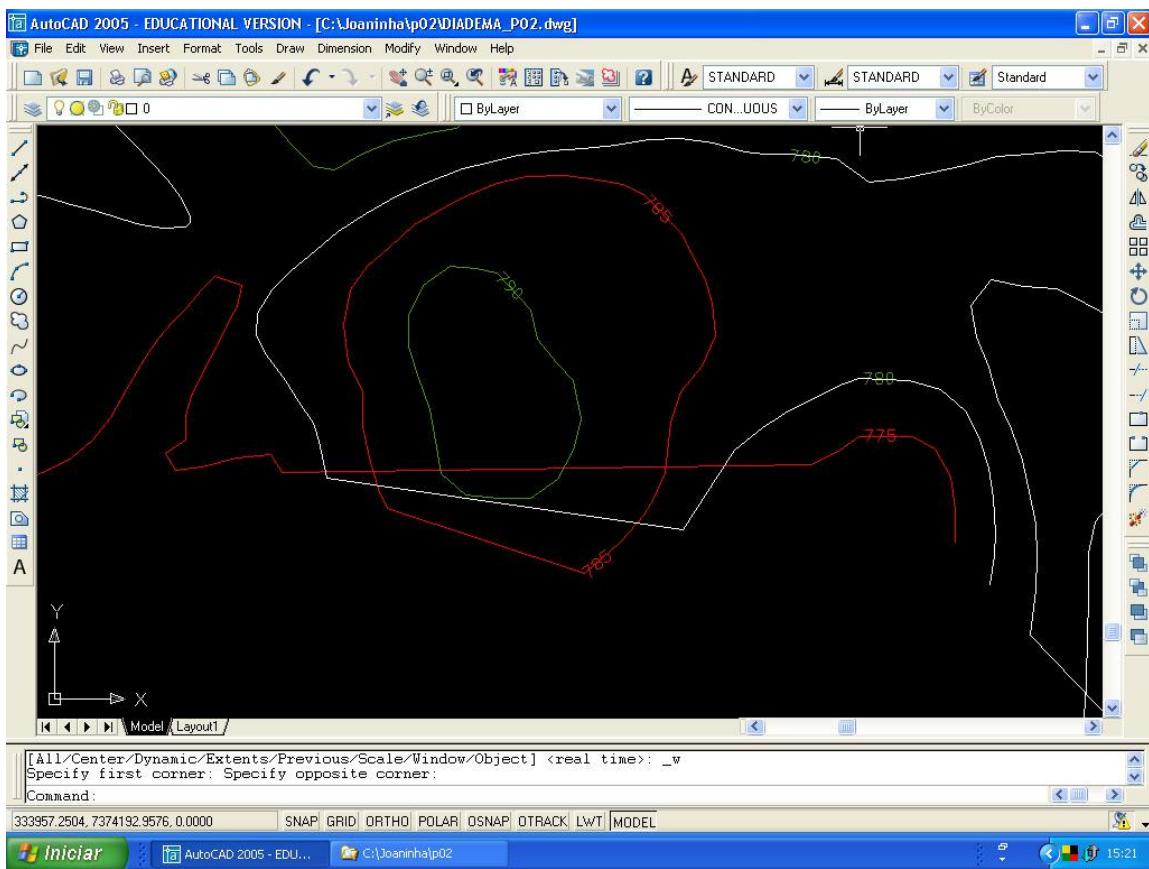


Figura 4 – erros no desenho das curvas de nível

Após o término da transferência, cada *layer* de cota foi associada a uma cor do ACI (*Autocad Color Index*) permitindo uma melhor compreensão da topografia da região, conforme mostra a Figura 5.

O layer, de cota 747 m, com o desenho das margens da represa Billings, foi associado à cor ACI de número 130 (próxima do *cyan*). Os demais *layers* foram associados às cores ACI de indo do *cyan* ao vermelho (para as cotas mais elevadas), passando por variações de verde, amarelo e laranja.

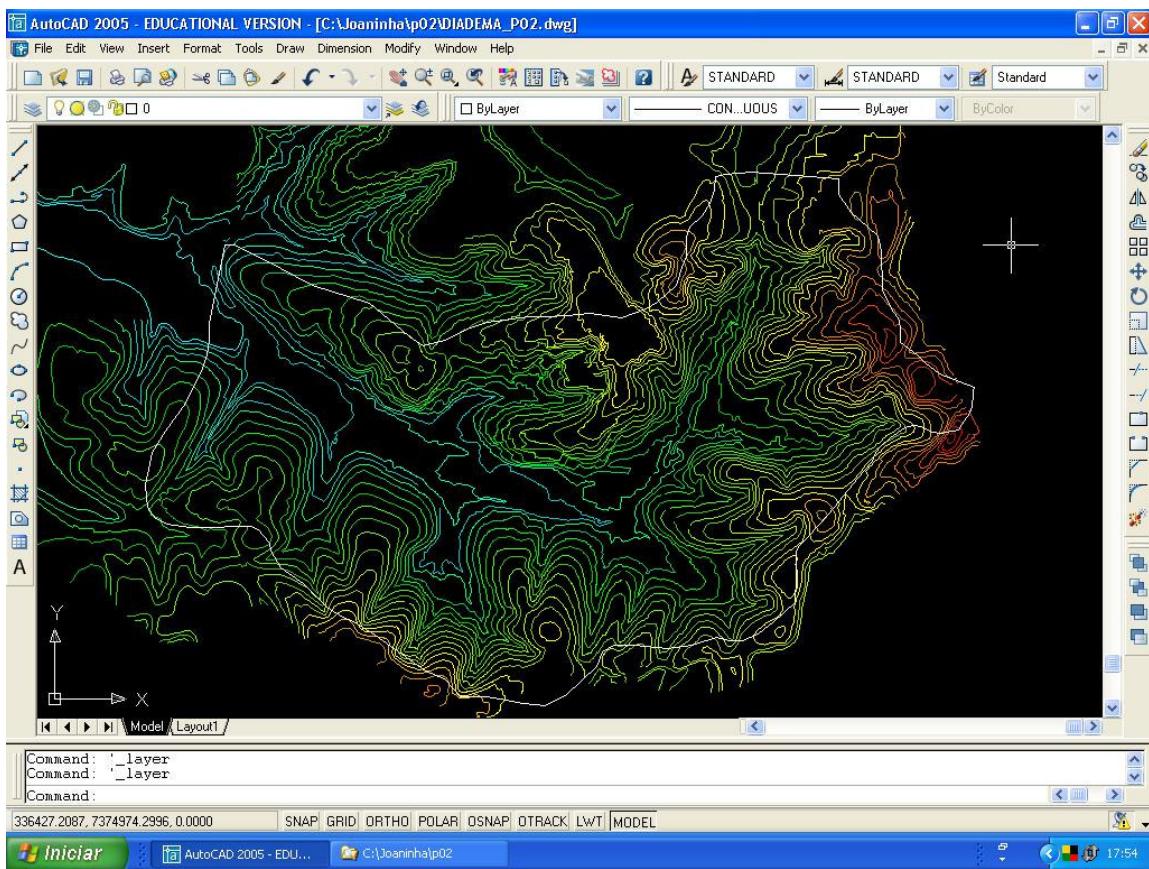


Figura 5 – visualização das curvas de nível por cores associadas às cotas.

O contorno da microbacia foi associado à cor branca. Seu desenho pode ser visto tanto na vista de topo (Figura 5) como em uma elevação (Figura 6).

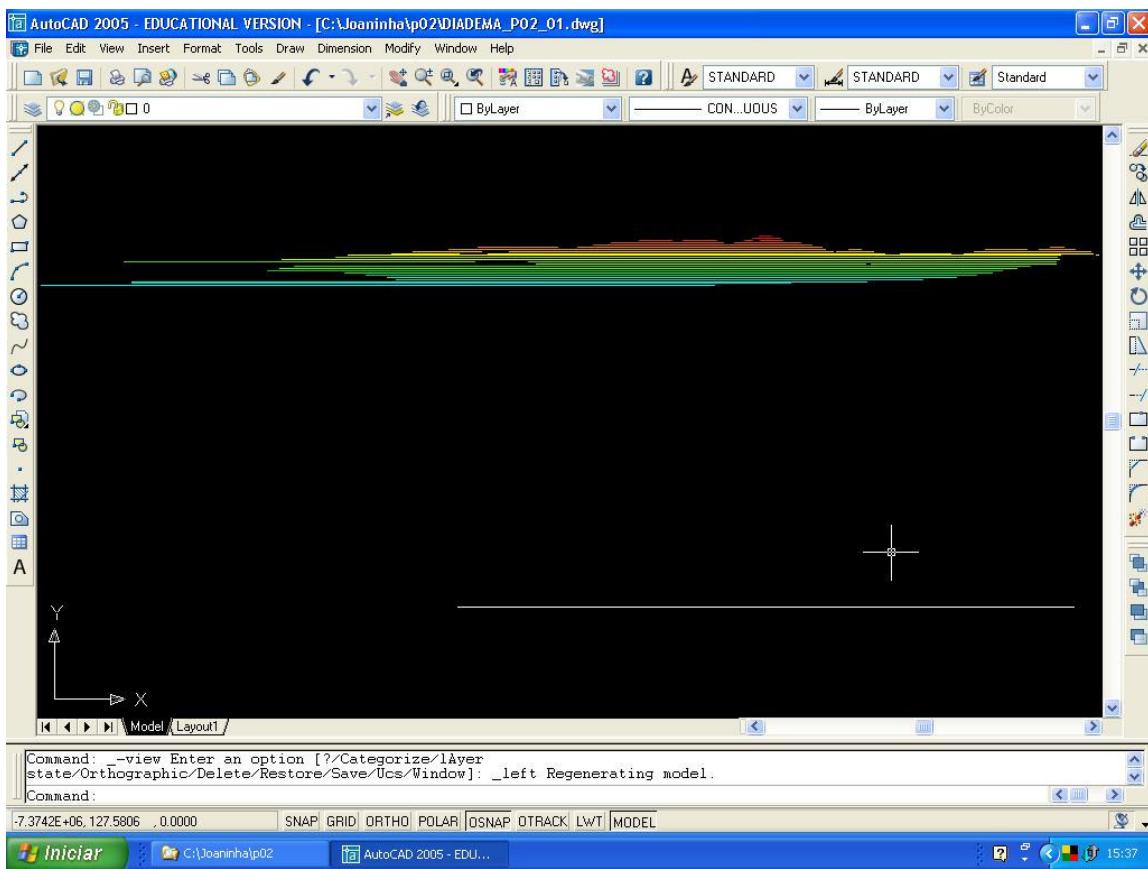


Figura 6 – curvas de nível e contorno da microbacia, em elevação.

Na vista em elevação da Figura 6, observa-se que o traçado do contorno da microbacia (na cor branca) não acompanha as variações de cota das curvas de nível.

As curvas de nível, em suas respectivas cotas e associadas a *layers* distintos cujos nomes representam cada cota, podem ser utilizadas para gerar um modelo digital da superfície, na forma de uma rede de triângulos (adjacentes) irregulares, do inglês, *triangular irregular network* – TIN.

O ajuste do traçado do contorno da microbacia às cotas das curvas de nível combinado com a eliminação de curvas muito distantes do local de estudo (o que foi feito nas transferências para os *layers* das cotas, conforme mostra a Figura 3), contribuem para um modelo TIN melhor.

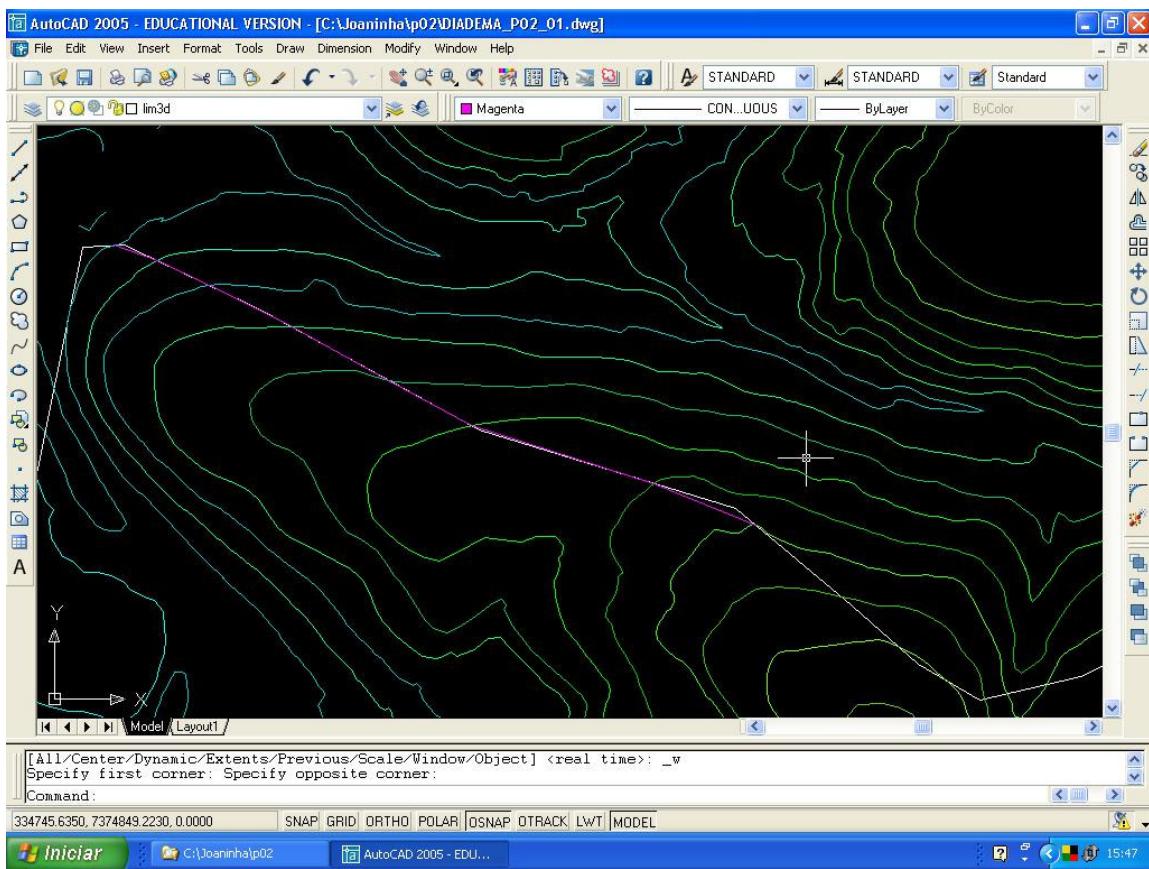


Figura 7 - novo desenho do contorno da microbacia, em andamento.

Fez-se um novo desenho do contorno microbacia, na vista de topo, usando as interseções aparentes (*apparent intersection*) entre das curvas de nível e as projeções do contorno da microbacia, após o ajuste da variável projmode para 1 (um) no aplicativo AutoCAD. O desenho do contorno original foi previamente deslocado para trás das demais feições, por meio do comando draworder opção back, para que os pontos aderissem (object snap) á dimensão z (cota) das curvas de nível.

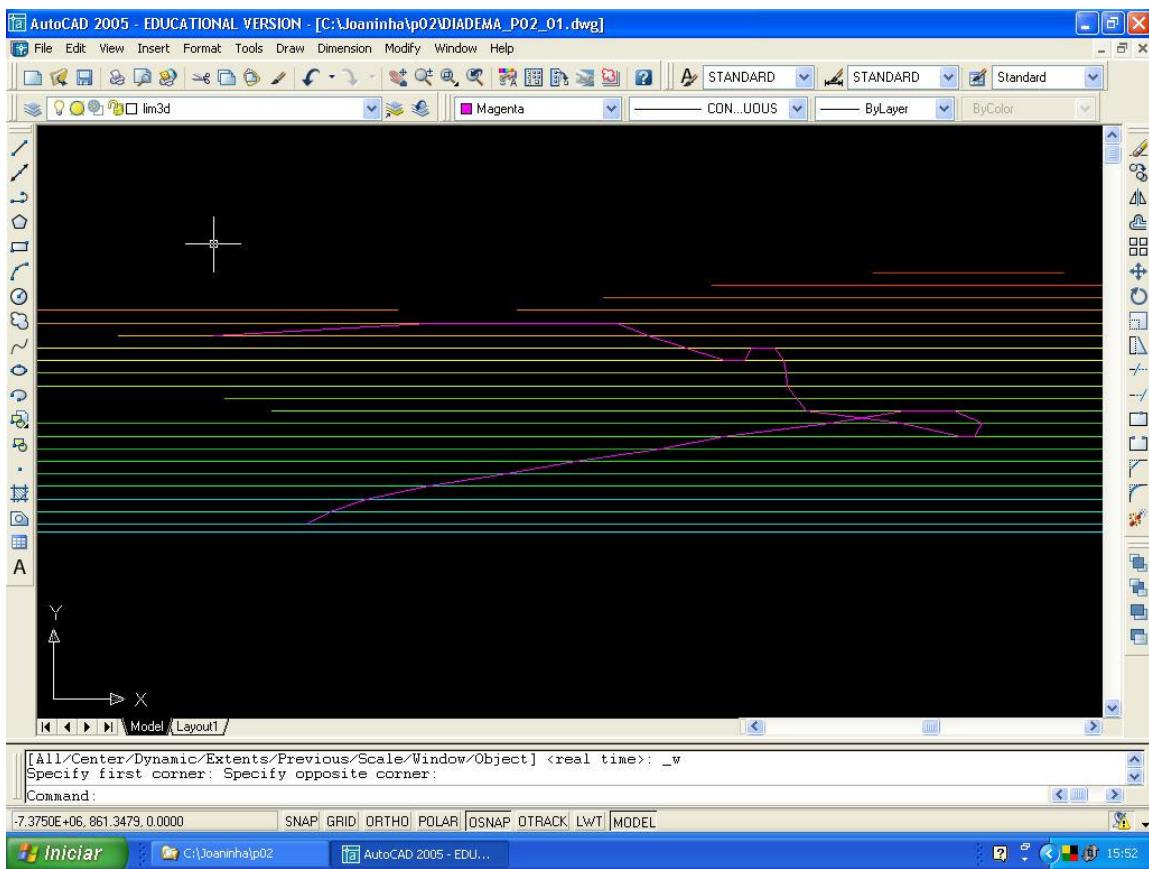


Figura 8 – novo desenho do contorno da microbacia, em elevação.

A Figura 7 mostra o desenho do novo contorno, em novo *layer* intitulado lim3d, em andamento, enquanto que a Figura 8 mostra o desenho, ainda incompleto, em elevação.

A Figura 9 exibe novo desenho do contorno da microbacia em 3D, após sua finalização.

Após ter desenhado o novo contorno da microbacia, em 3D, eles foram exportados por meio do comando *wblock*, gerando o arquivo mod1lim3d.dwg. As curvas de nível e as margens da represa foram exportadas da mesma forma, gerando o arquivo mod1curvas.dwg.

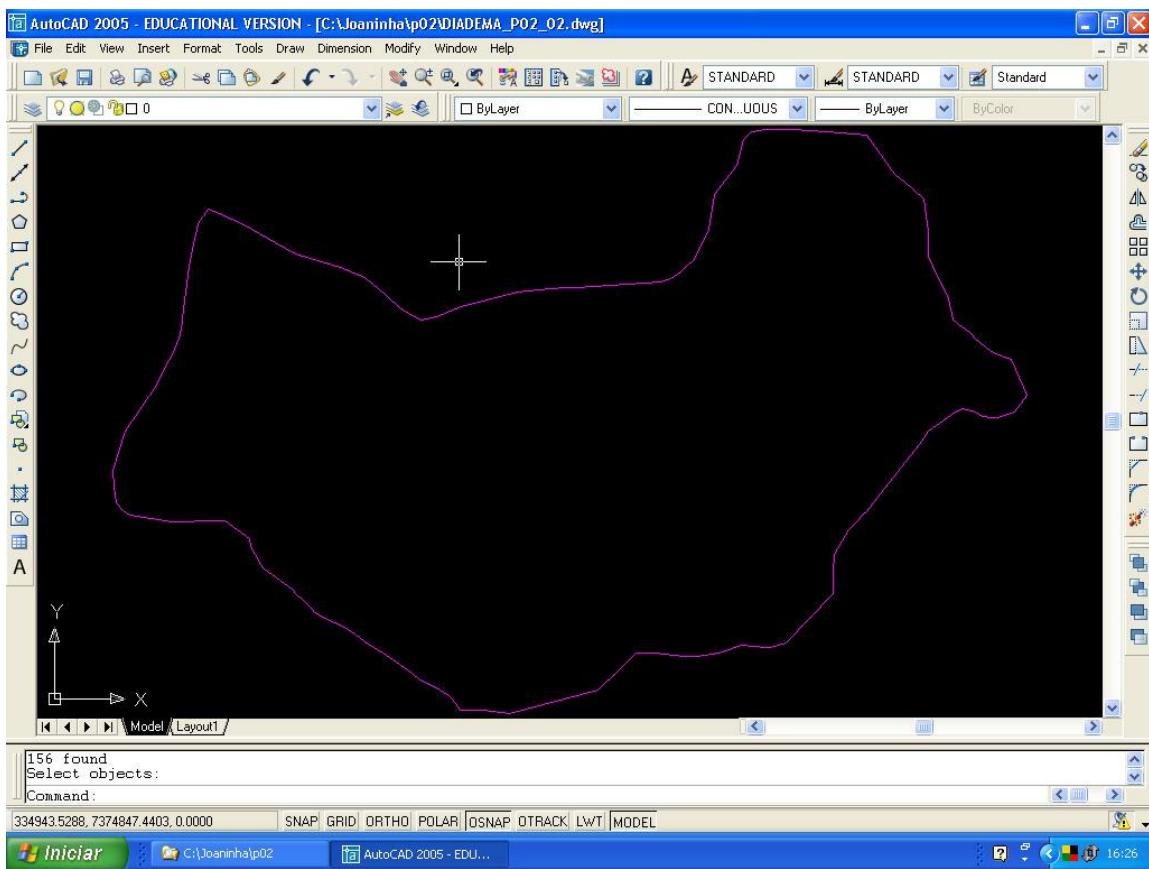


Figura 9 – novo desenho do contorno da microbacia em 3D, finalizado.

Após a exportação dos dois arquivos acima, o uso do aplicativo AutoCAD foi encerrado.

O aplicativo ArcMap foi iniciado e, a partir dele, foi iniciado o aplicativo ArcToolbox. No ArcToolbox foi feita a conversão dos arquivos exportados do AutoCAD para o formato ESRI shapefile.

O ArcToolbox possui uma estrutura, de seleção de ferramentas, em árvore. Para converter dwg em shapefile seleciona-se o caminho Conversion Tools – To Shape File – Feature Class to Shapefile.

No caso de arquivo formato dwg, é gerado um layer (um arquivo) para cada tipo de feição, conforme mostra a Figura 10. No caso, interessa apenas o tipo Polyline, das curvas de nível.

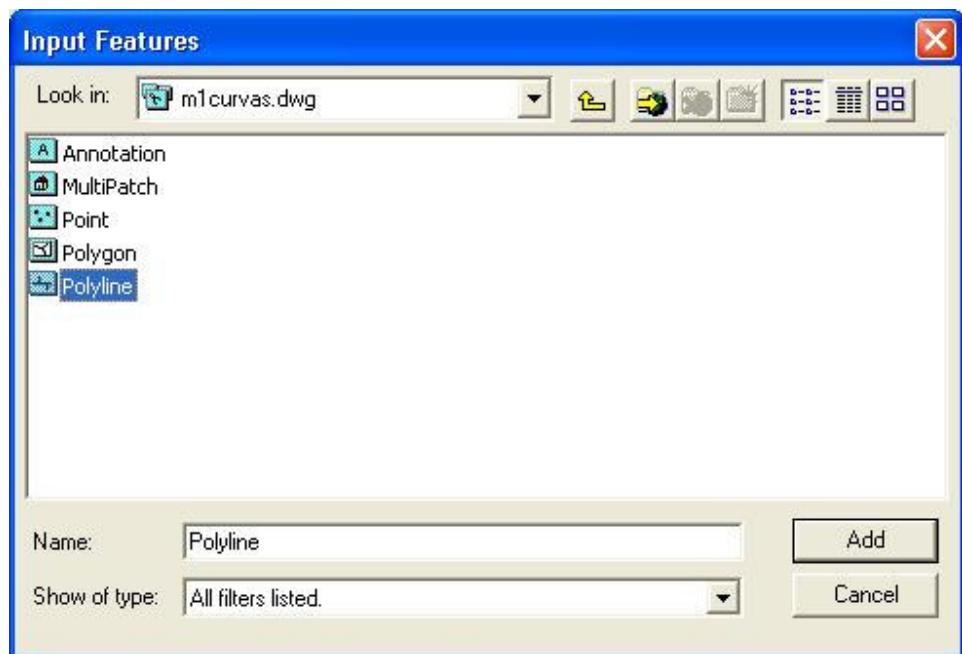


Figura 10 – escolha do arquivo e tipos de feições a converter.

A Figura 11 mostra a tela seguinte na qual é feita a escolha da pasta de destino do arquivo a ser convertido para ESRI shapefile.

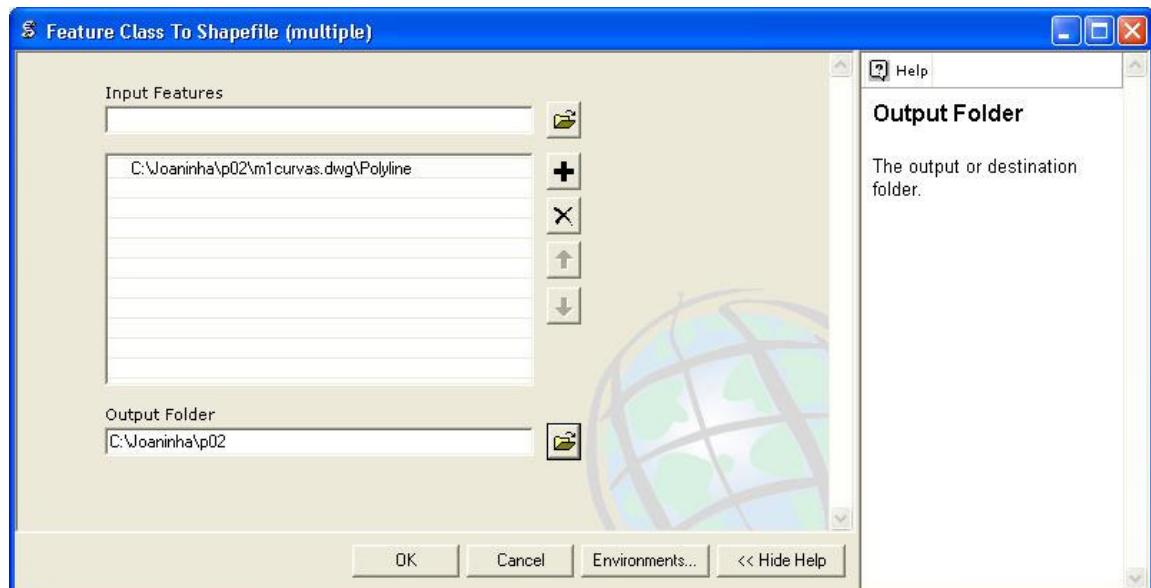


Figura 11 – indicação do destino para o arquivo resultado da conversão.

A Figura 12 mostra os dois arquivos convertidos para ESRI shapefile. O arquivo m1curvas_dwg_Polyline corresponde às curvas de nível e o arquivo m1lim3d_dwg_Polyline corresponde ao contorno da microbacia.

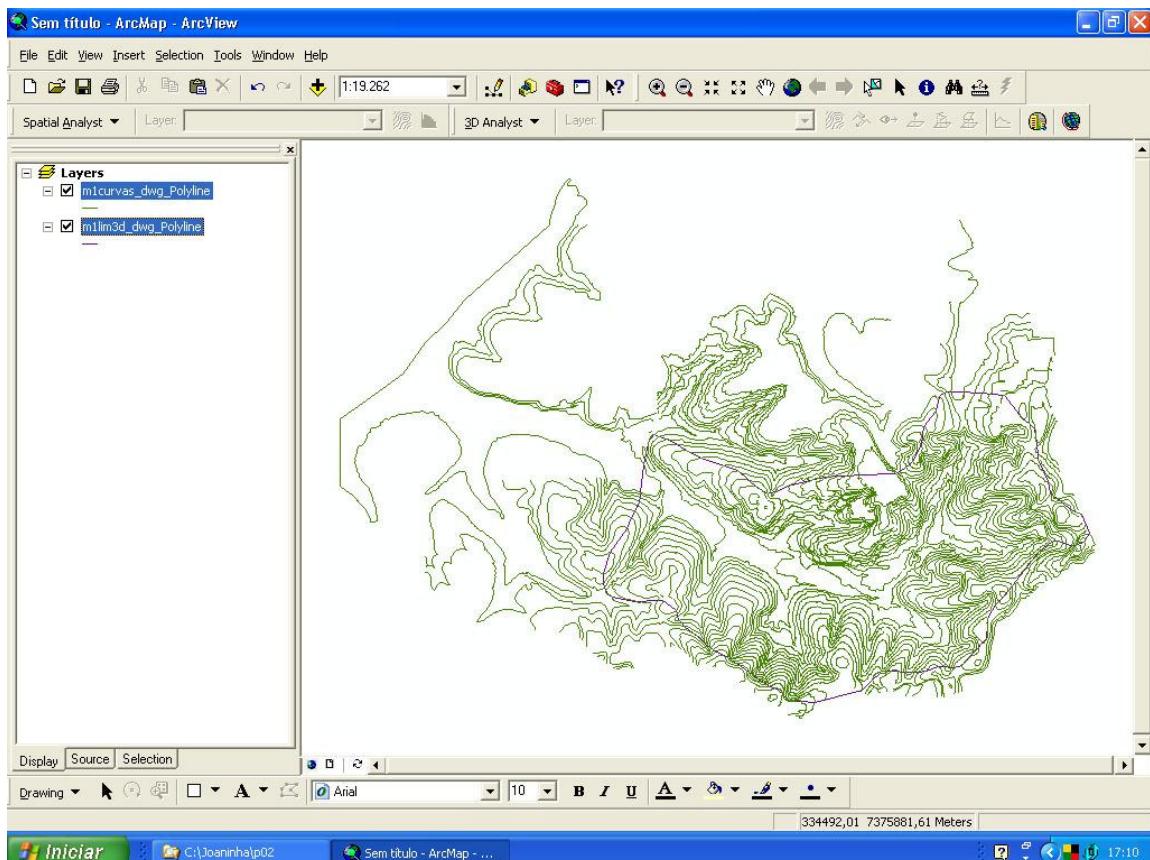


Figura 12 – curvas de nível e contorno da microbacia.

Cabe observar que, antes de adicionar os arquivos convertidos para ESRI shapefile, o Data Frame default (Layers) associado ao sistema de projeção UTM 23S, sobre o datum SAD 69.

Como os arquivos m1curvas_dwg_Polyline e m1lim3d_dwg_Polyline não estão formalmente associados ao sistema de projeção, eles foram exportados com a opção de usar o sistema de projeção do Data Frame, respectivamente como m1curvas_sad69 e m1lim3d_sad69, os quais foram adicionados ao Data Frame, conforme mostra a Figura 13.

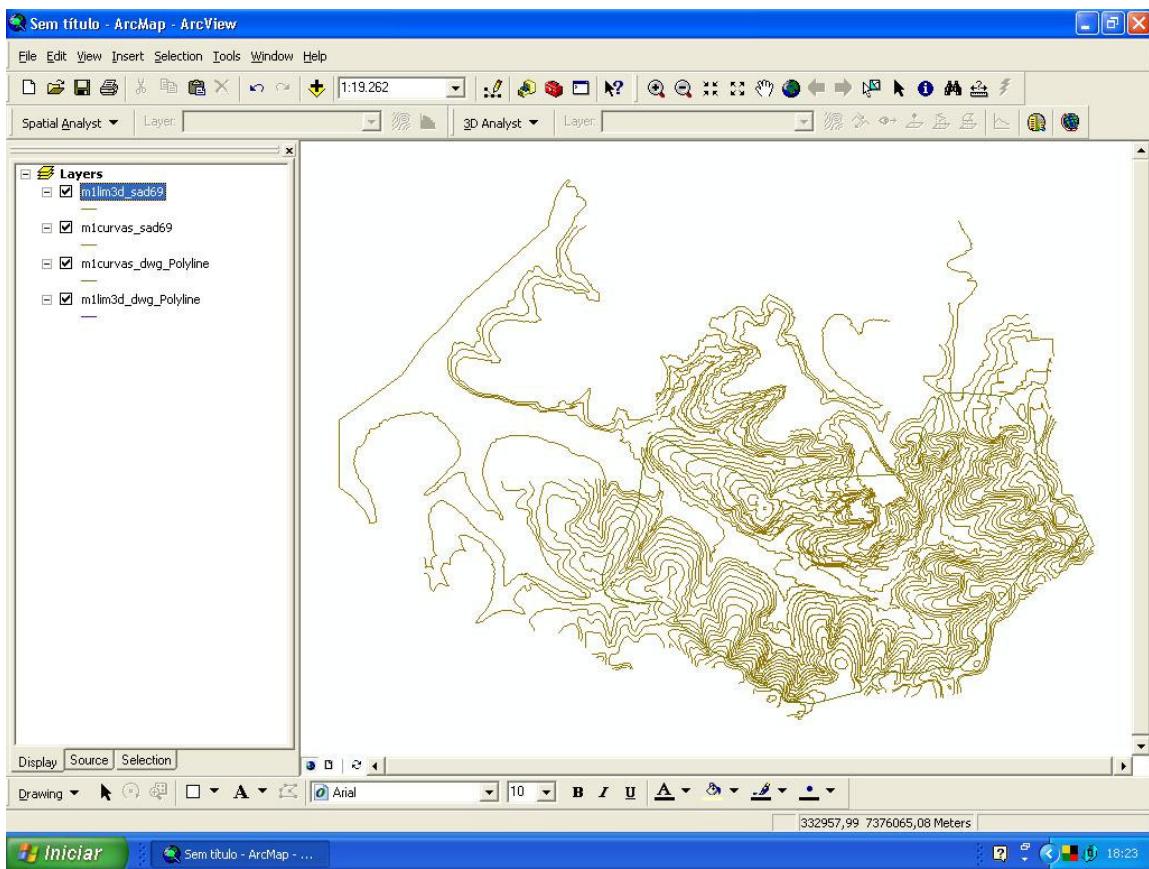


Figura 13 – curvas de nível e contorno da microbacia no sistema de projeção SAD-69

Para manter compatibilidade com os dados do cálculo das razões, entre áreas dos tipos de uso do solo, em cada setor censitário, descrito no Anexo I, todos as feições foram convertidas para o sistema de projeção UTM 23S baseado no datum de Córrego Alegre.

O Map Document foi salvo com o nome joaninha1_sad69.mxd. Em seguida, foi aberto novo Map Document intitulado joaninha1_calegre.mxd, com o Data Frame default (Layers) associado ao sistema de projeção UTM 23S baseado no datum de Córrego Alegre.

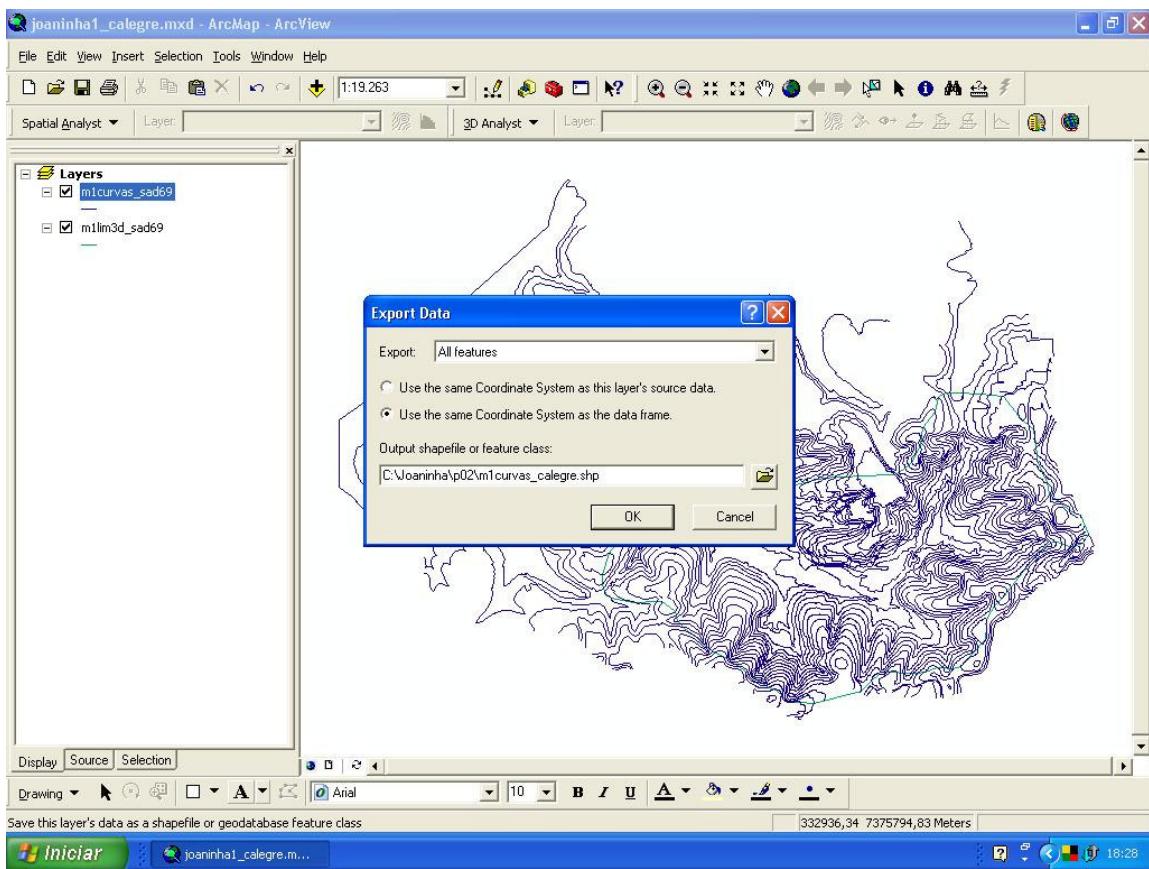


Figura 14 – curvas de nível exportadas para novo sistema de projeção.

Os arquivos m1curvas_sad69 e m1lim3d_sad69 foram adicionados ao Data Frame e, em seguida, exportados usando o mesmo sistema de projeção do Data Frame, respectivamente como m1curvas_calegre e m1lim3d_calegre, conforme mostram as figuras 14 e 15.

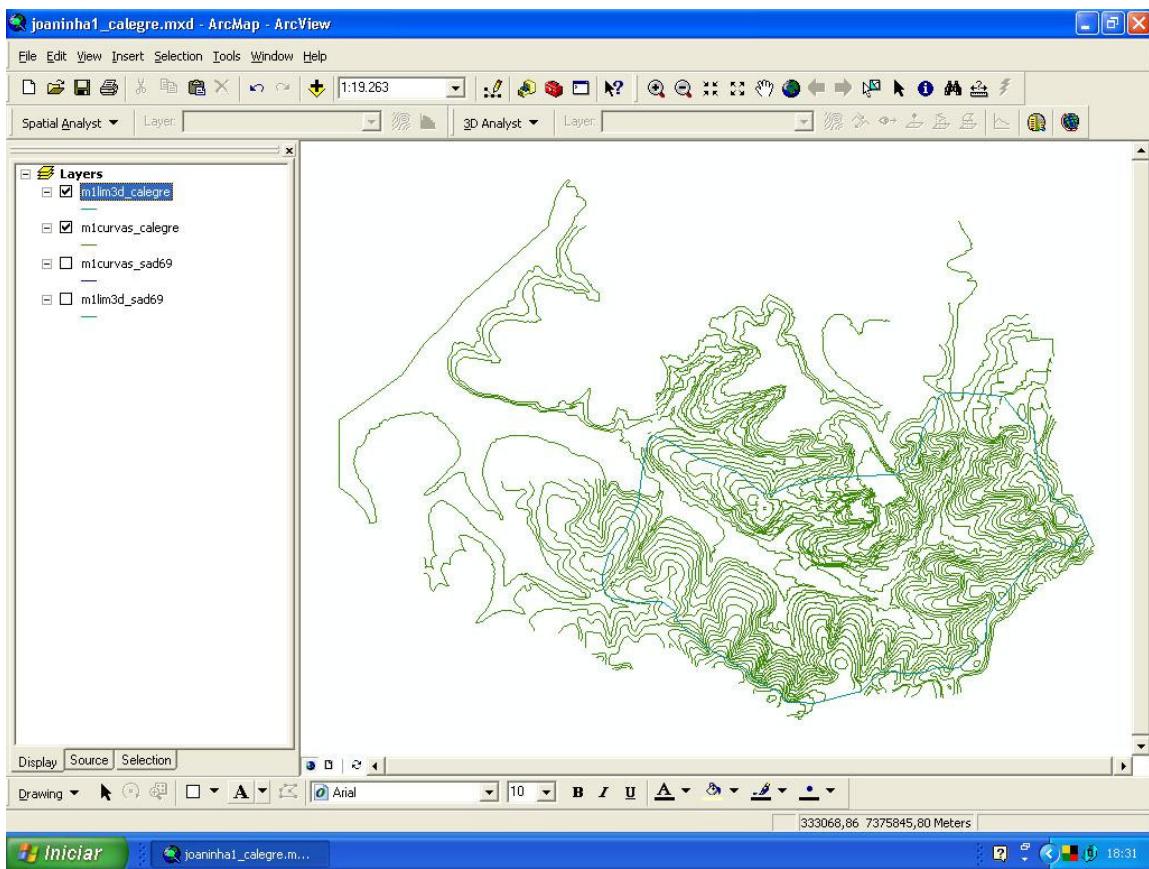


Figura 15 – arquivos nos sistemas de projeção UTM 23S aos data de Córrego Alegre e SAD69.

Observe que as curvas de nível estão todas com a mesma cor. Diversas propriedades dos objetos do arquivo dwg são preservadas na forma de atributos do ESRI shapefile, mais especificamente, como colunas do arquivo dbf (Ashton-Tate DBase file). Uma dessas colunas contém os nomes dos layers do arquivo dwg original e poderia ser utilizada para definir suas cores.

Conforme citado acima:

- O desenho de curvas de nível é uma das formas que se emprega para a analise da topografia de um local;
- Na computação gráfica, pode-se fazer uso de outros recursos de representação;

- As curvas de nível, podem ser utilizadas para gerar um modelo digital da superfície, na forma de uma rede de triângulos (adjacentes) irregulares, do inglês, *triangular irregular network* – TIN.

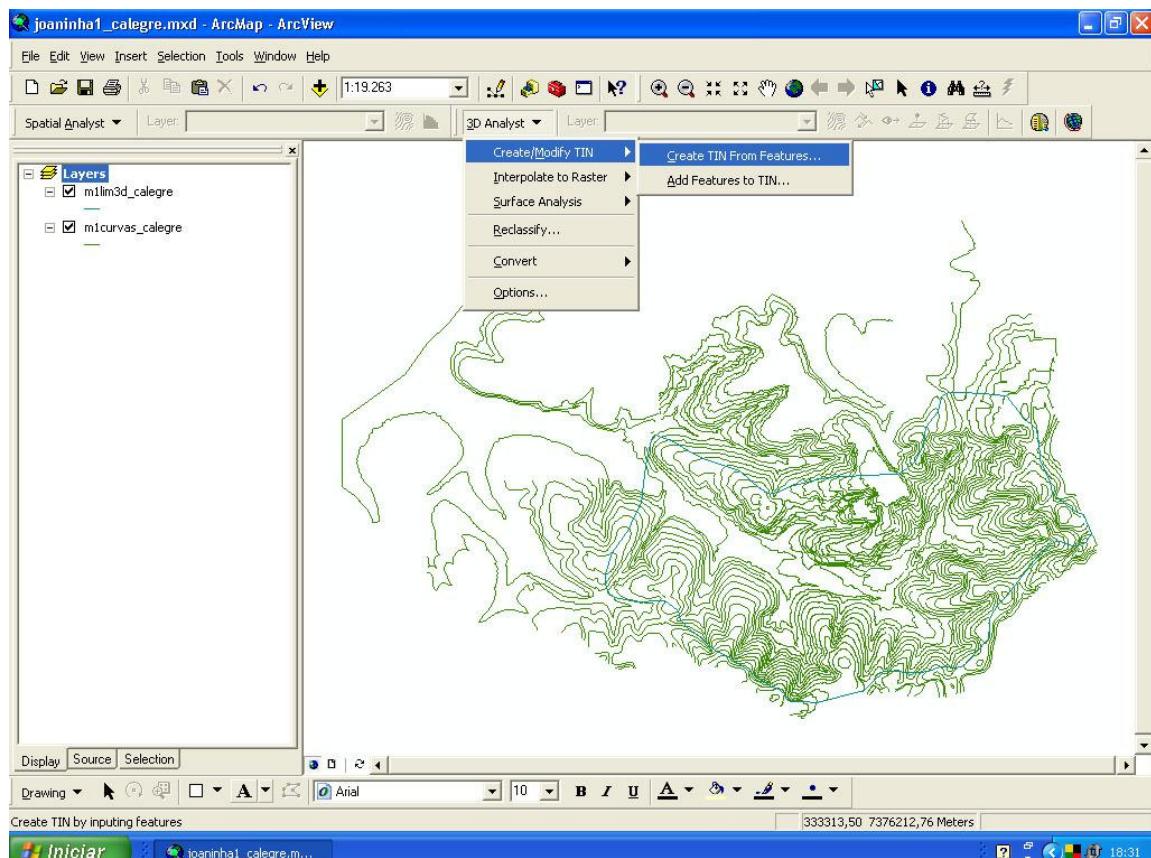


Figura 16 – barra de ferramentas 3dAnalyst.

A geração do TIN pode ser feita no âmbito do ArcMap, pela barra de Ferramentas 3dAnalyst, opções de menu Create/Modify TIN – Create TIN from Features..., conforme indicado nas figuras 16 a 18.

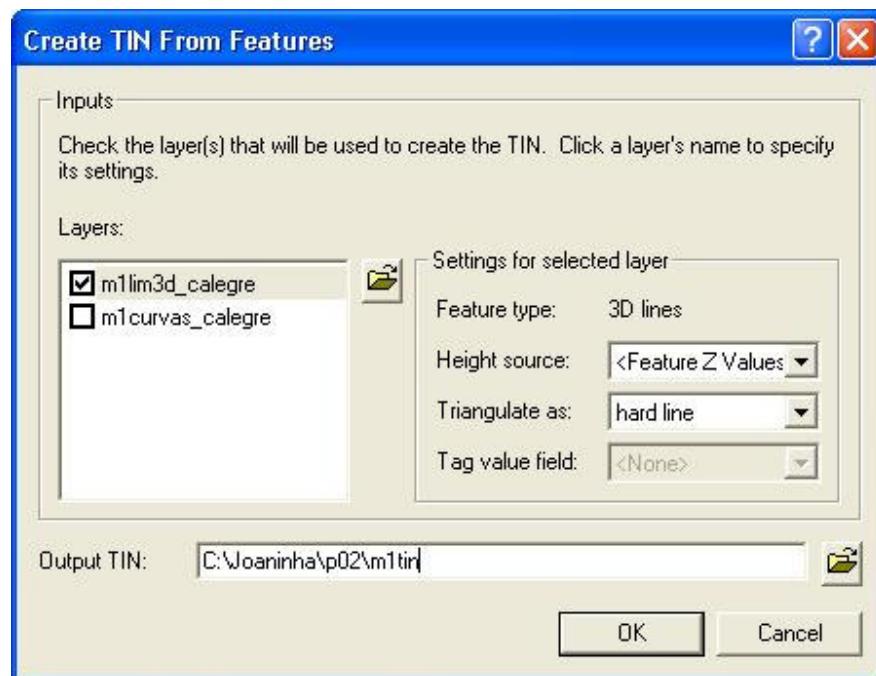


Figura 17 – seleção do contorno da microbacia.

Como resultado é criado o TIN intitulado m1tin, conforme mostram as figuras 17 e 18.

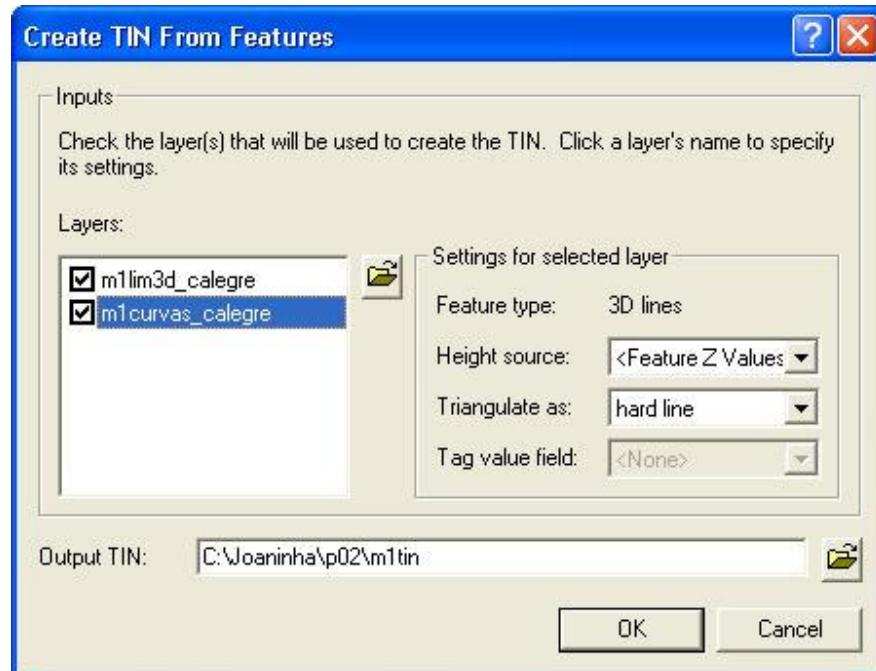


Figura 18 – seleção das curvas de nível.

No TIN, intitulado m1tin, os intervalos das altitudes são representadas por diferentes cores, conforme mostra a Figura 19.

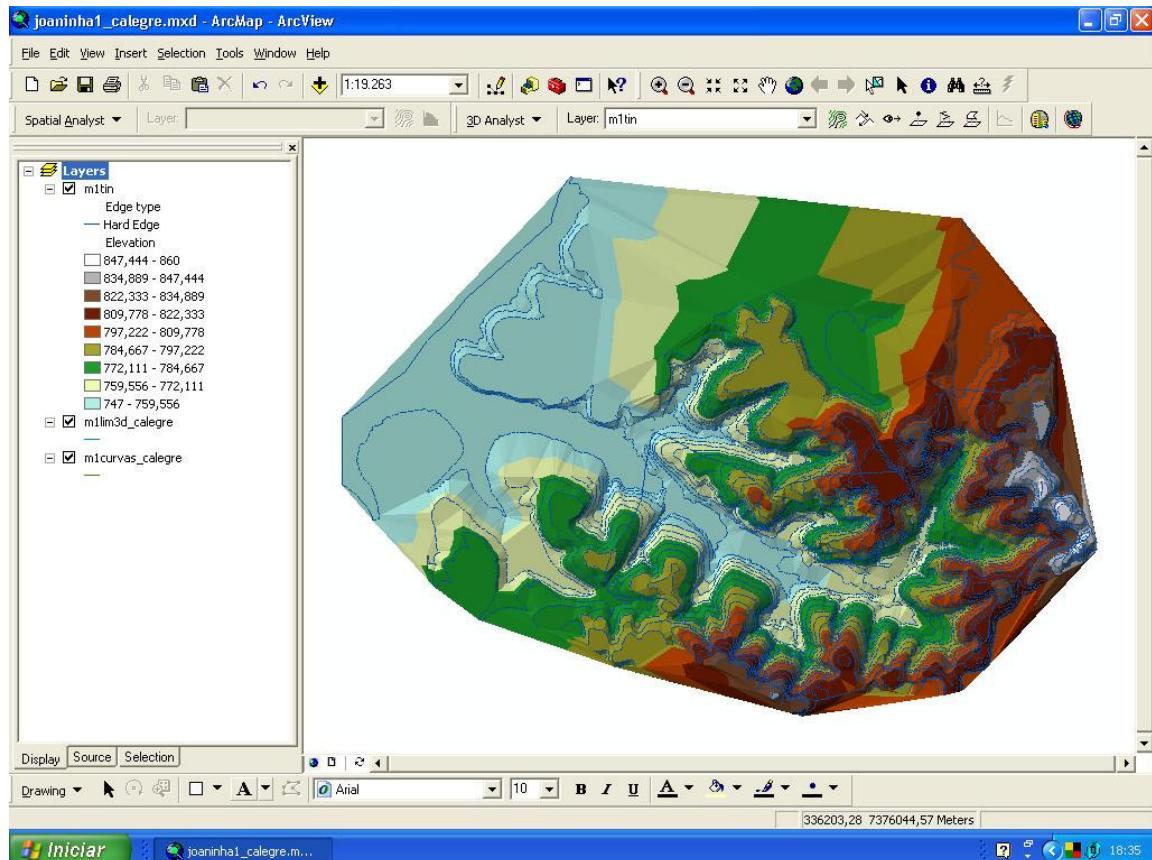


Figura 19 – TIN gerado a partir das curvas de nível e do contorno da microbacia.

Os intervalos e o sistema de cores foram gerados automaticamente pela ferramenta, conforme mostra a Figuras 20.

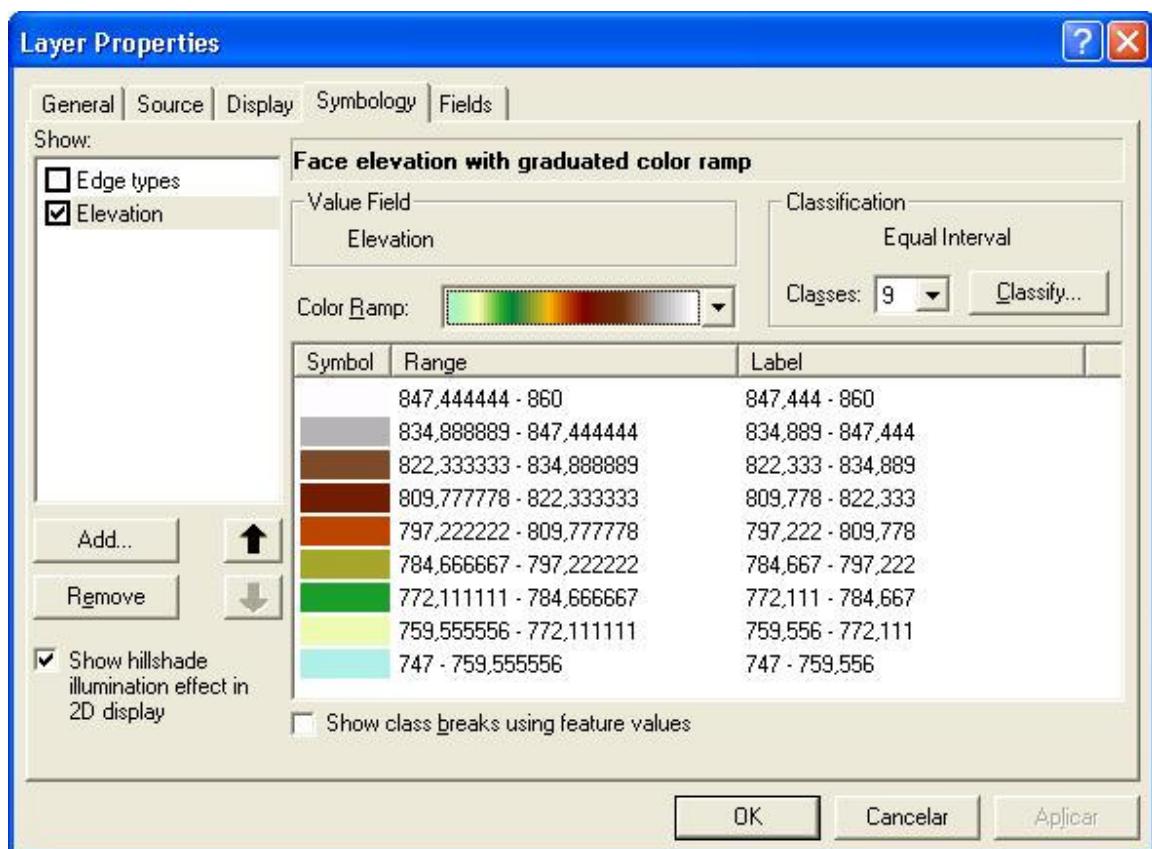


Figura 20 – intervalos e sistema de cores correspondentes gerado pela ferramenta.

Tal sistema intervalo-cor pode e foi melhorado, sendo que os passos para sua melhoria são indicados a seguir.

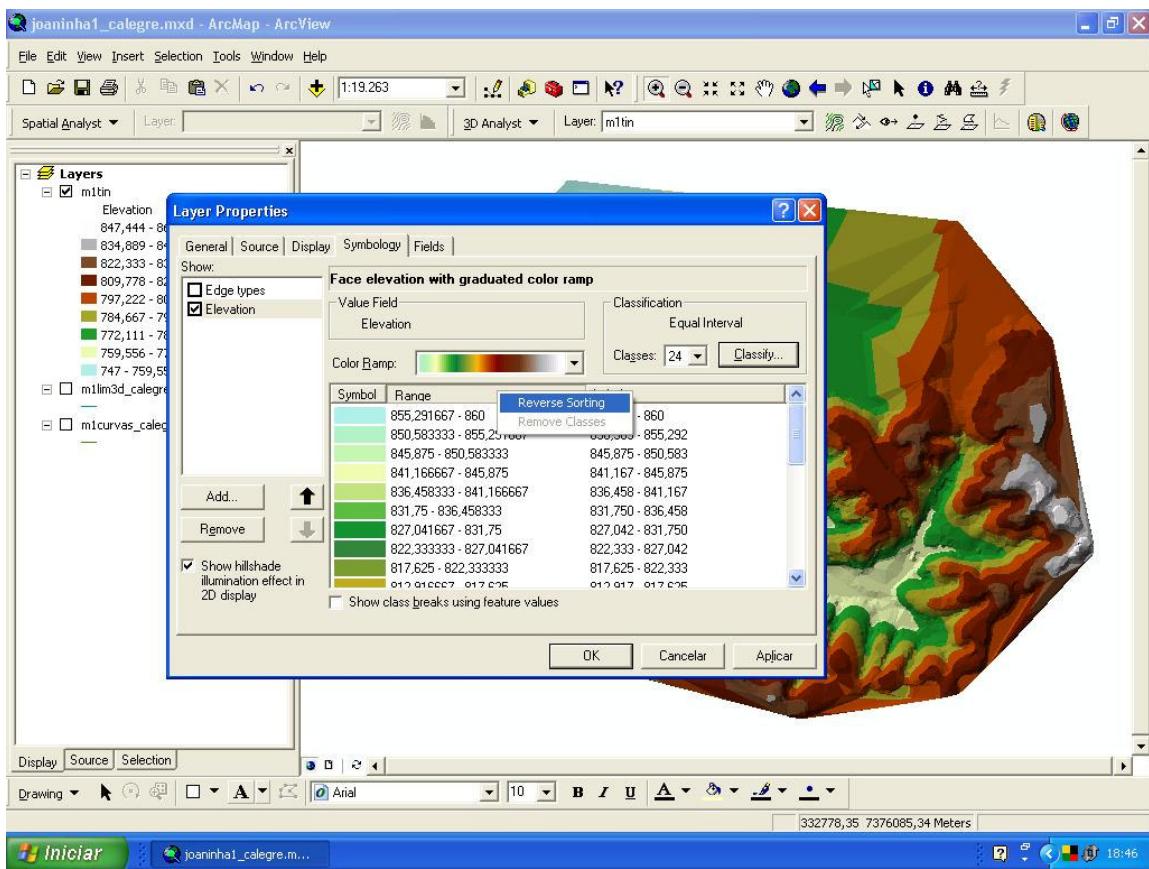


Figura 21 – inversão da legenda.

A primeira providência foi a de inverter a ordem dos intervalos das altitudes, da de menores altitudes para a de maiores altitudes, conforme mostrado na Figura 21. Ao mesmo tempo, alterou-se o número de classes de nove para 24 (vinte e quatro), uma para cada curva de nível de 5m.

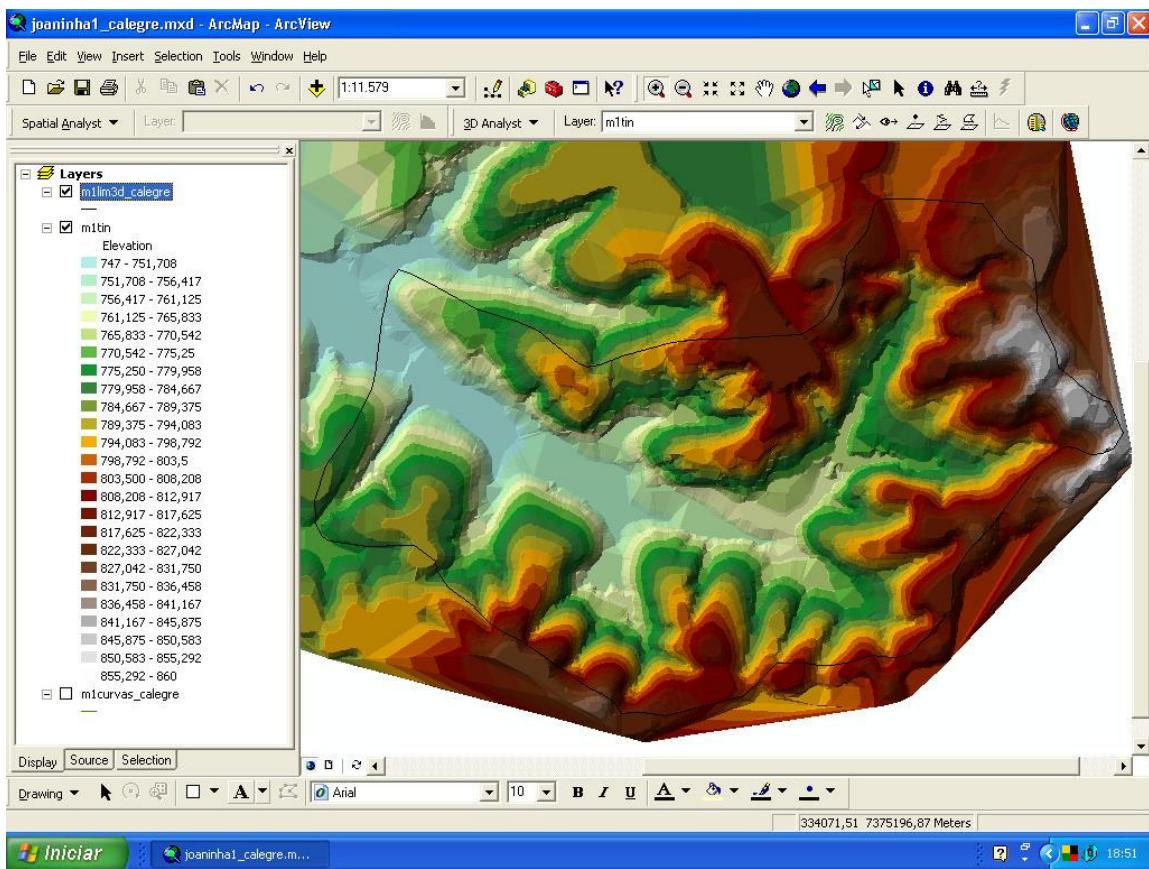


Figura 22 – vinte e quatro classes, mas falta associar aos intervalos corretos.

A Figura 22 mostra que as 24 (vinte e quatro) classes foram criadas, mas não correspondem aos intervalos de cinco metros, das curvas de nível originais.

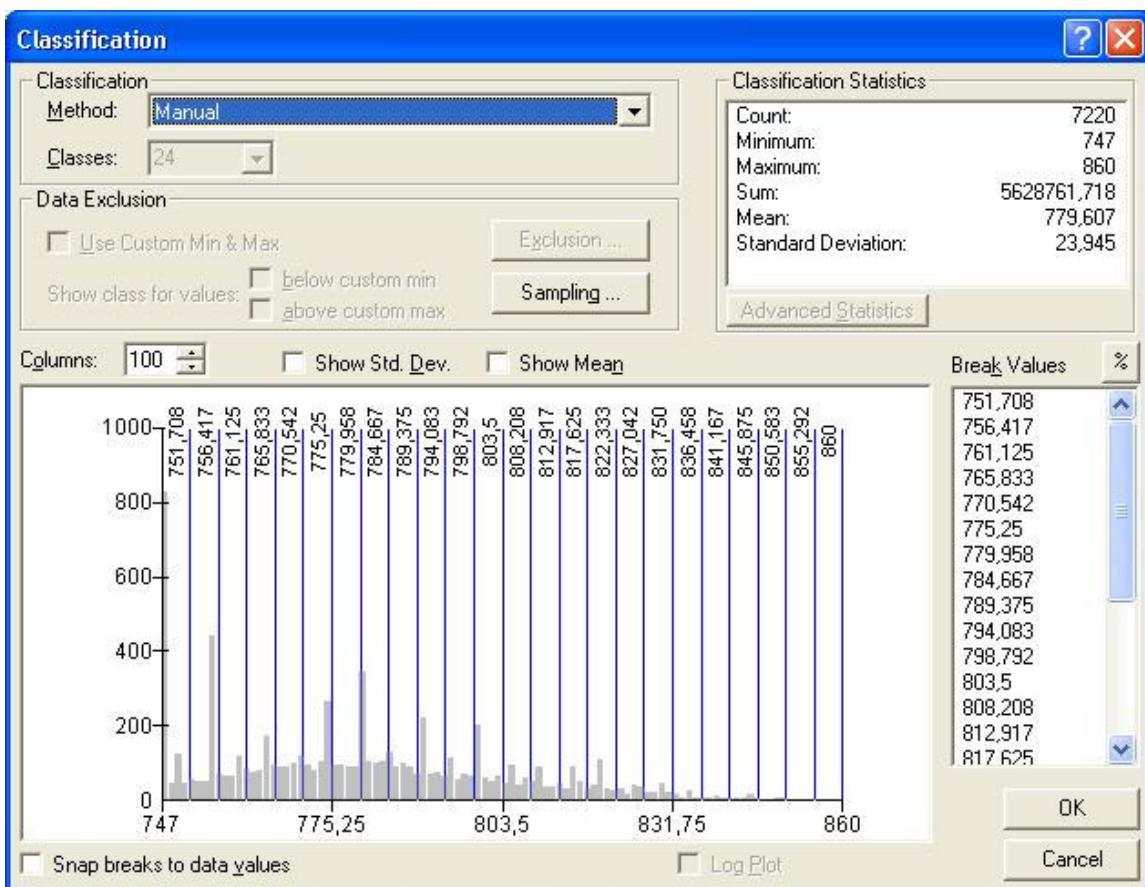


Figura 23 – reclassificação dos intervalos será manual.

A atribuição dos intervalos de cinco metros cada requer que a classificação seja feita manualmente conforme indicado na Figura 23.

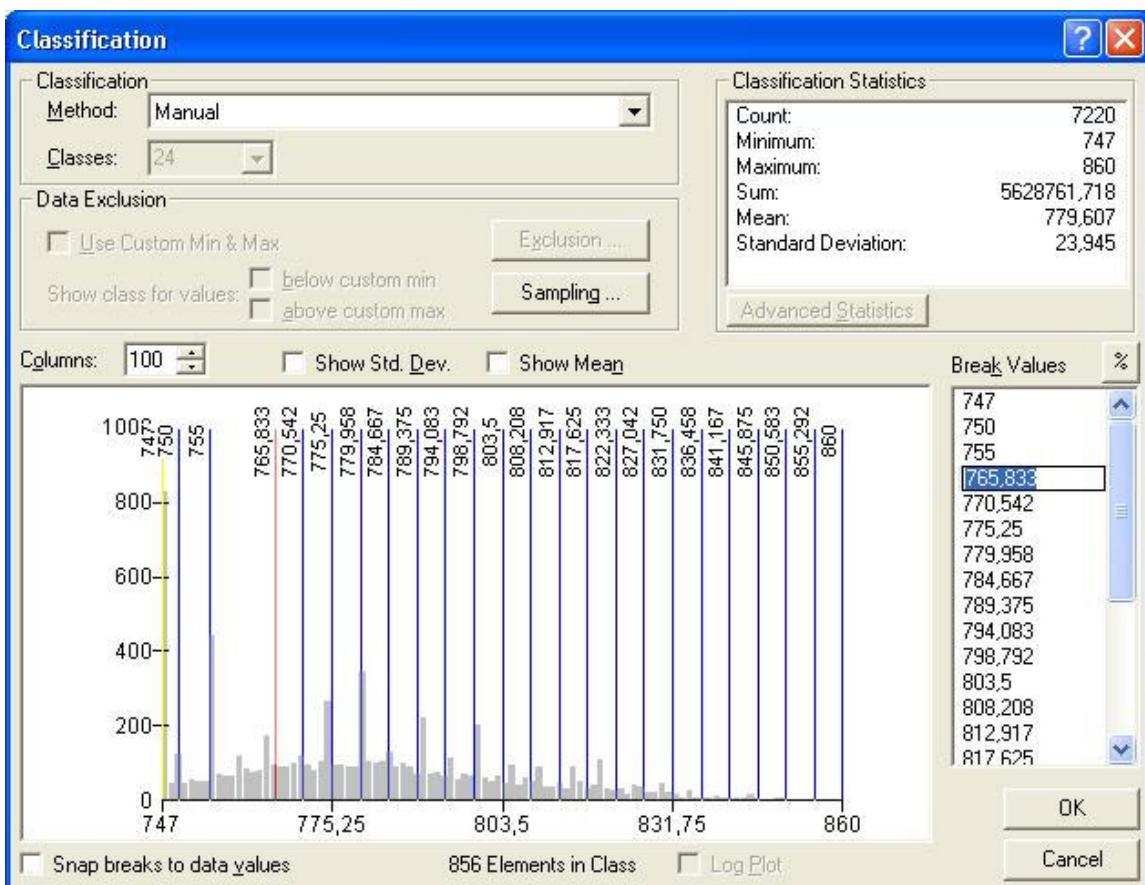


Figura 24 – reclassificação em andamento.

Após definir a cota 747m, a qual representa o nível de água na represa Billings, os intervalos foram sendo refeitos, de cinco em cinco metros, iniciando-se o próximo intervalo na cota 750m e assim por diante, conforme mostra a Figura 24.

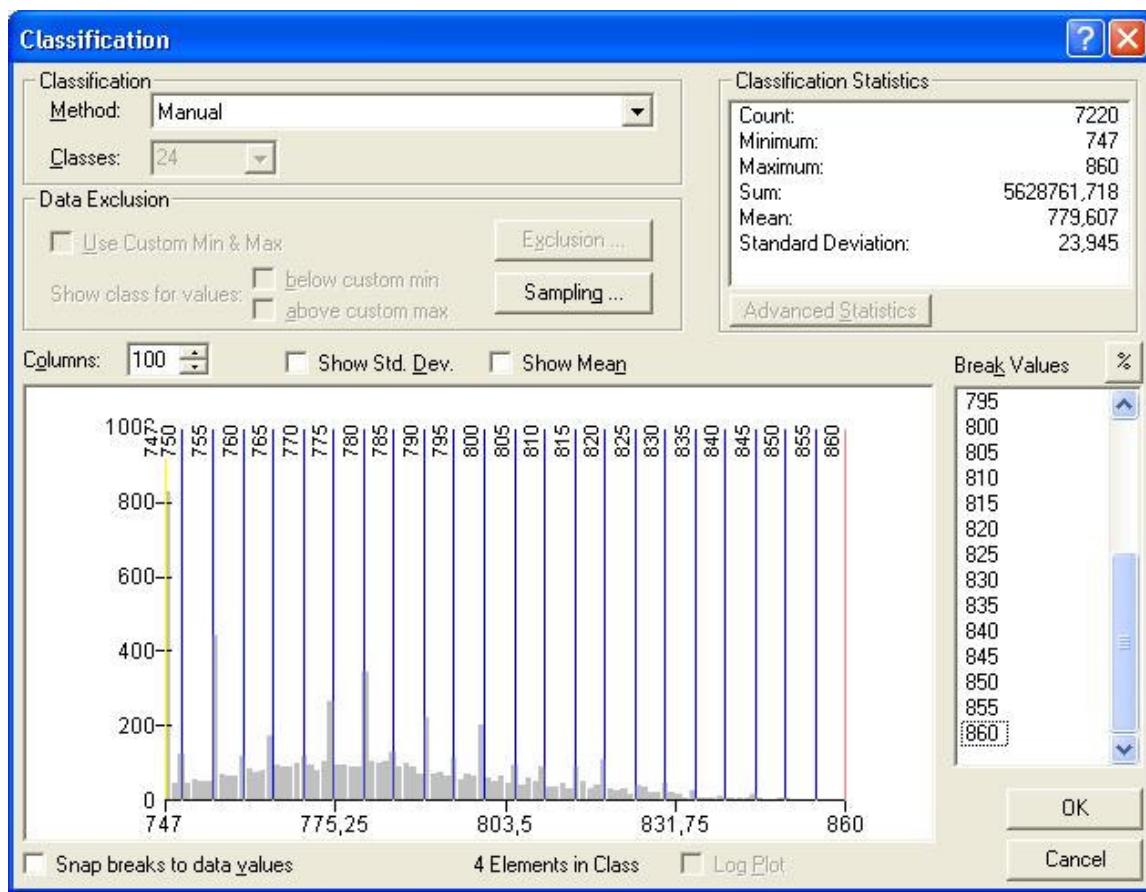


Figura 25 – novos intervalos de altitude.

O último intervalo corresponde às cotas de 855 a 860 metros, conforme mostra a Figura 25.

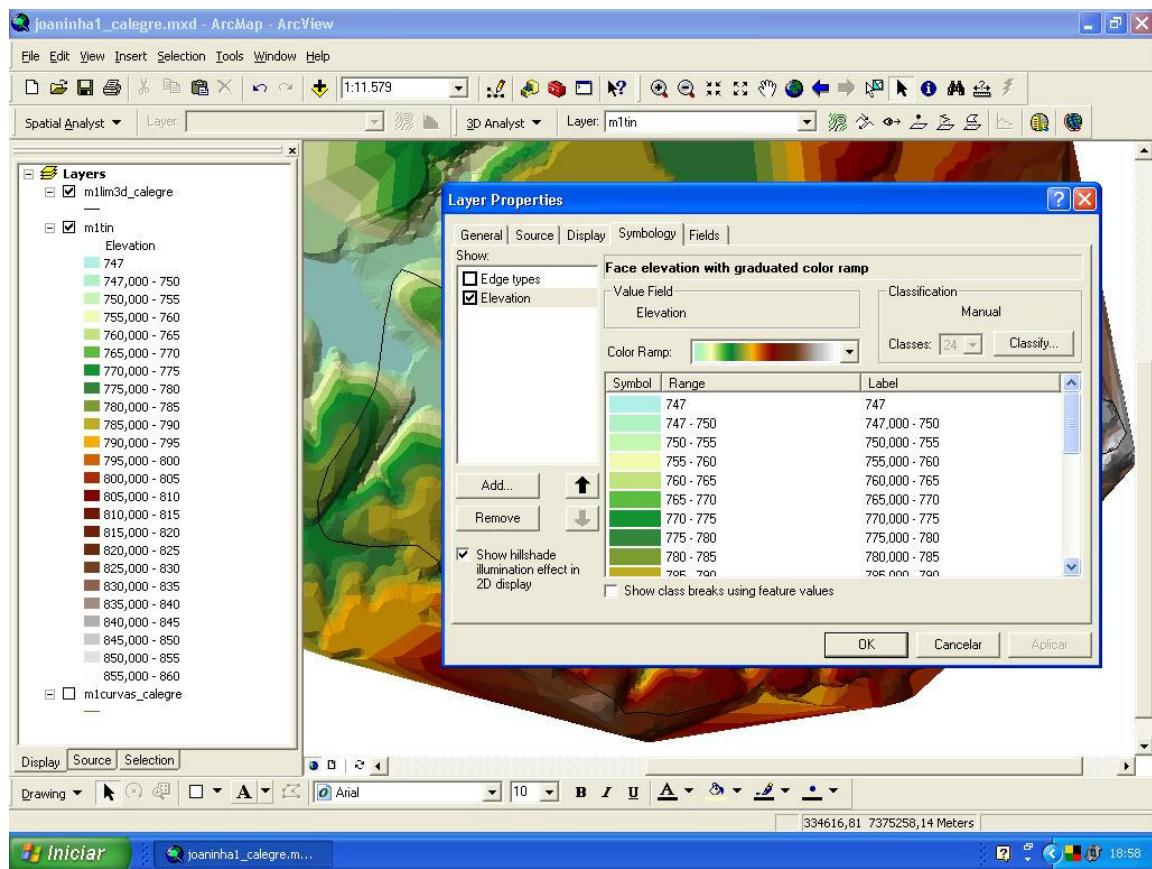


Figura 26 – intervalos de 5m e mapa correspondente.

A Figura 26 mostra a nova estrutura com intervalos de cinco metros e o mapa correspondente ao fundo.

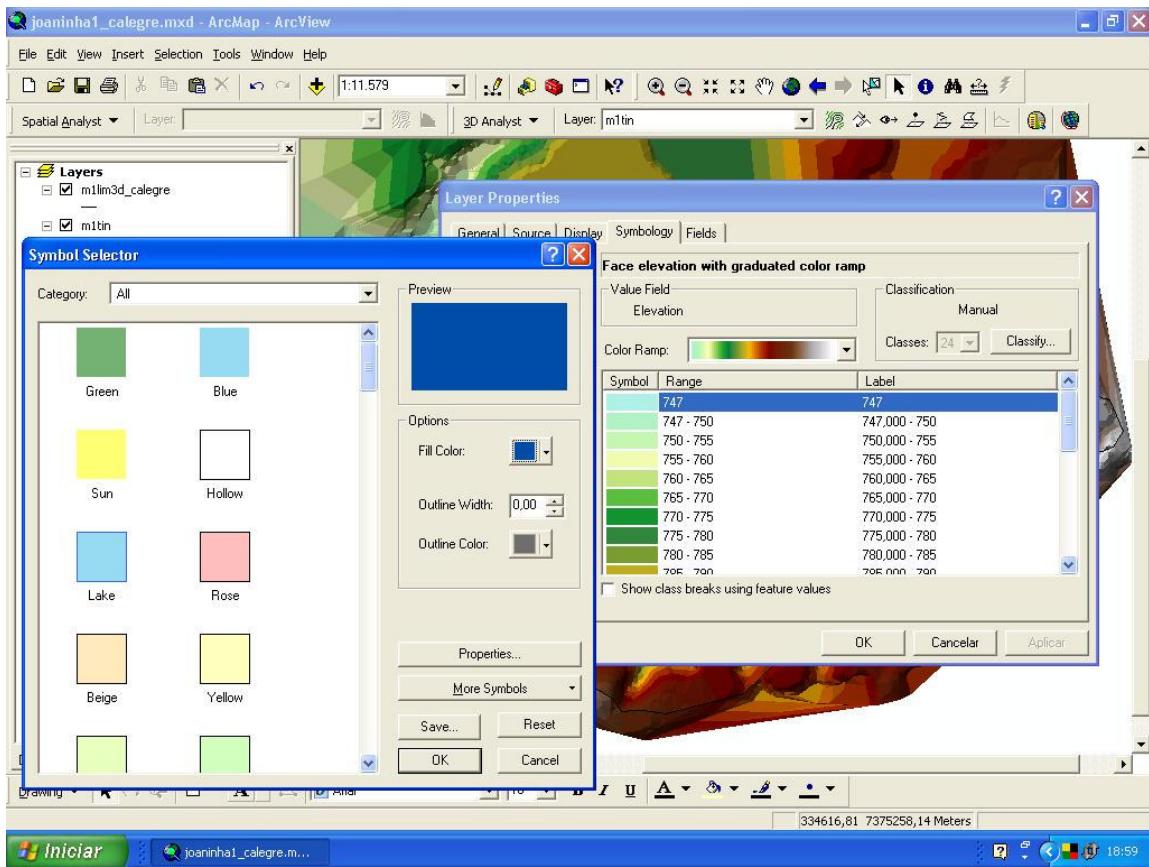


Figura 27 – alteração da cor da cota 747m.

O último passo, visando melhorar a representação do relevo, foi a de atribuir cor azul à cota 747m, do nível da Represa Billings, conforme mostrado na Figura 27.

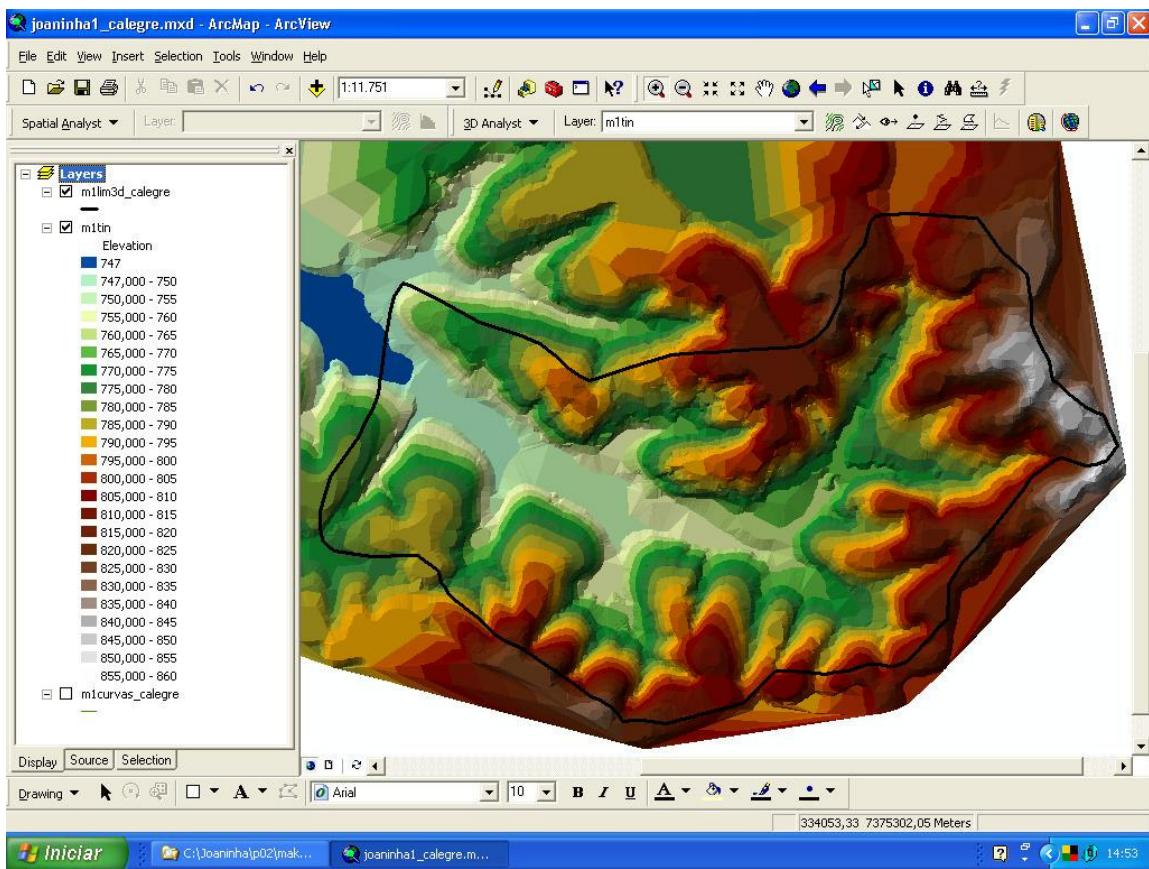


Figura 28 – intervalos de altitude diferenciados pela cor.

A Figura 28 mostra os intervalos de altitude diferenciados pela cor. O contorno da microbacia foi realçado para melhor visualização. Observe que o modelo apenas é válido dentro da microbacia ou no seu entorno imediato. Ao se distanciar do contorno as curvas de nível cessam o que gera distorções no modelo.

Para o presente caso, a declividade do terreno é tão ou mais importante do que sua altitude. A construção da ETE será tanto menos dispendiosa quanto a declividade do terreno original for próxima de plana. Declividades muito altas inviabilizam sua execução.

A análise da declividade começa com a geração de um mapa de declividades, conforme mostram as figuras 29 e 30. A ferramenta utilizada é o Slope da opção Surface Analysis do menu 3DAnalyst.

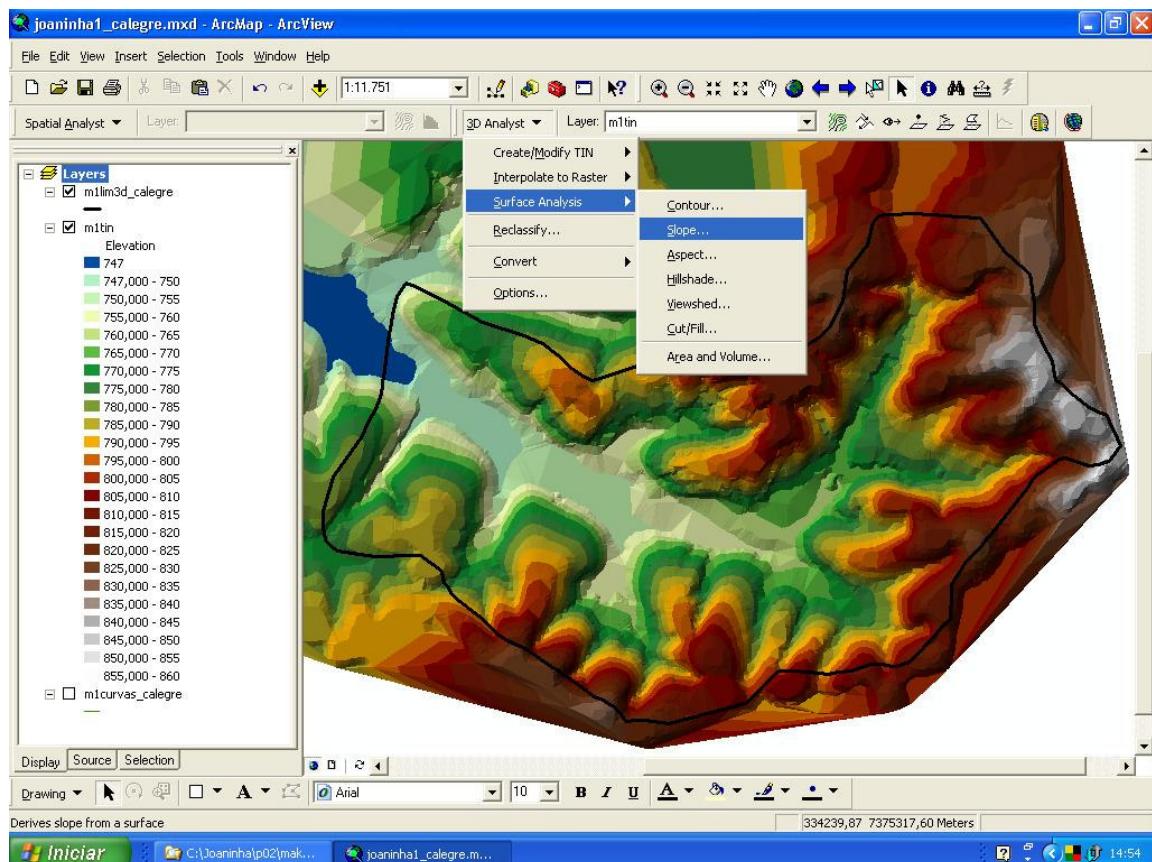


Figura 29

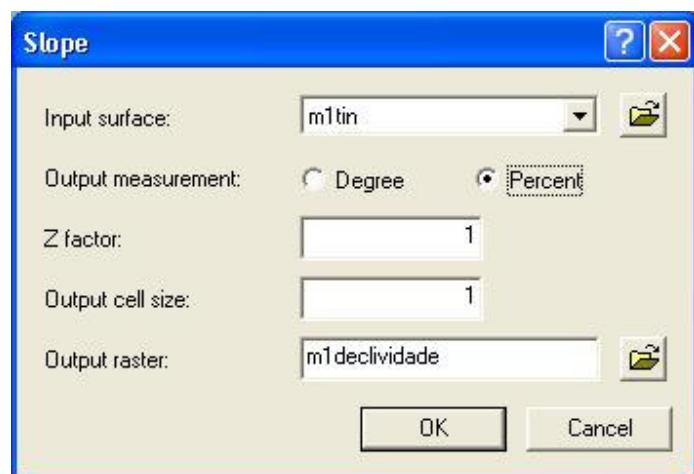


Figura 30

A Figura 31 mostra o mapa de declividades gerado classificadas automaticamente. Os intervalos de declividade estão coloridos arbitrariamente (do verde ao vermelho).

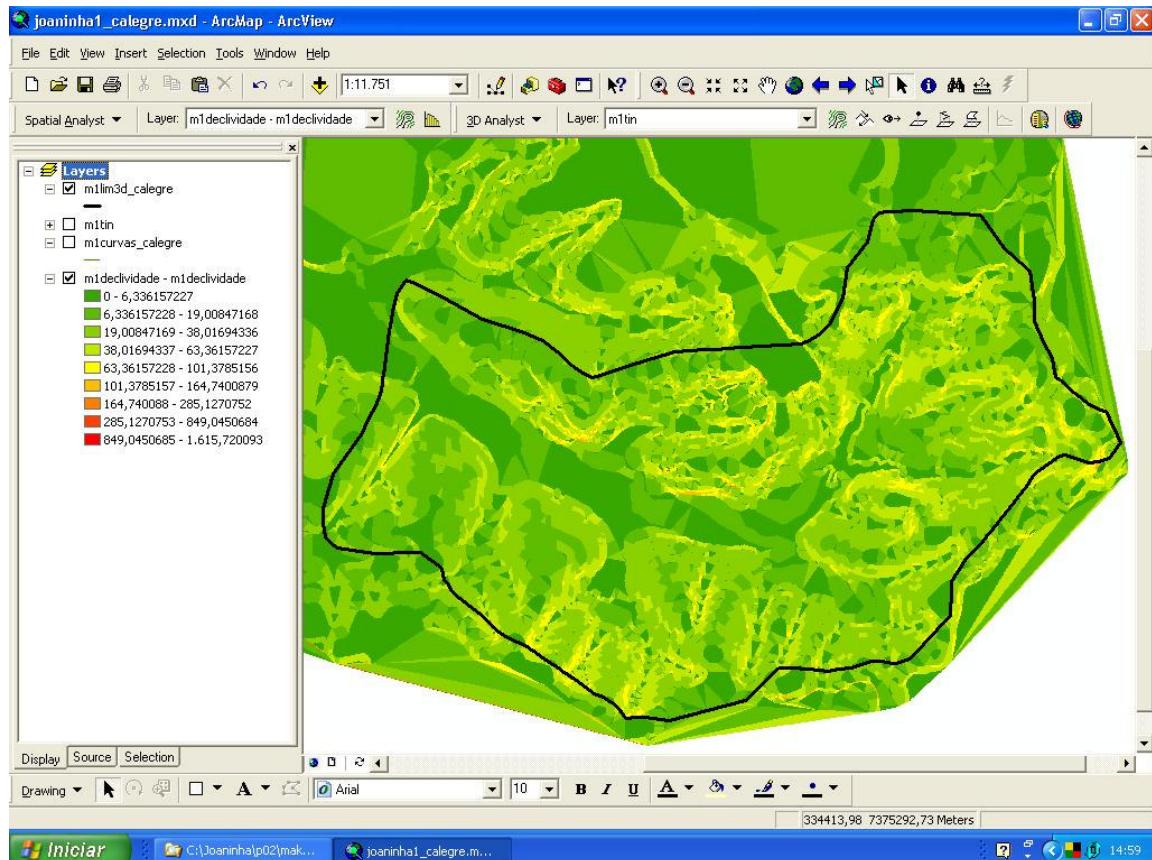


Figura 31

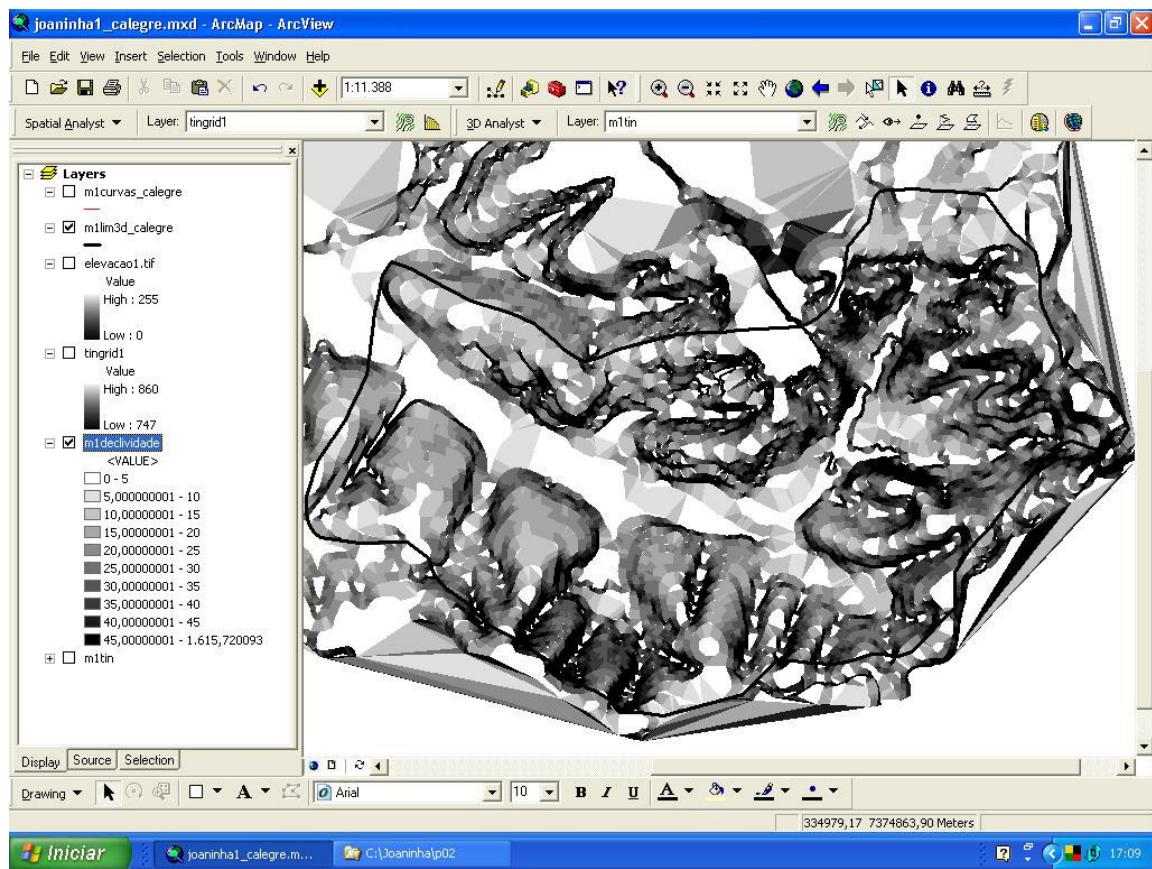


Figura 32

Na Figura 32, a legenda colorida foi substituída por uma graduação de tons de cinza, as cores mais claras representam os locais de menor declividade e as mais escuras os locais de maior declividade.

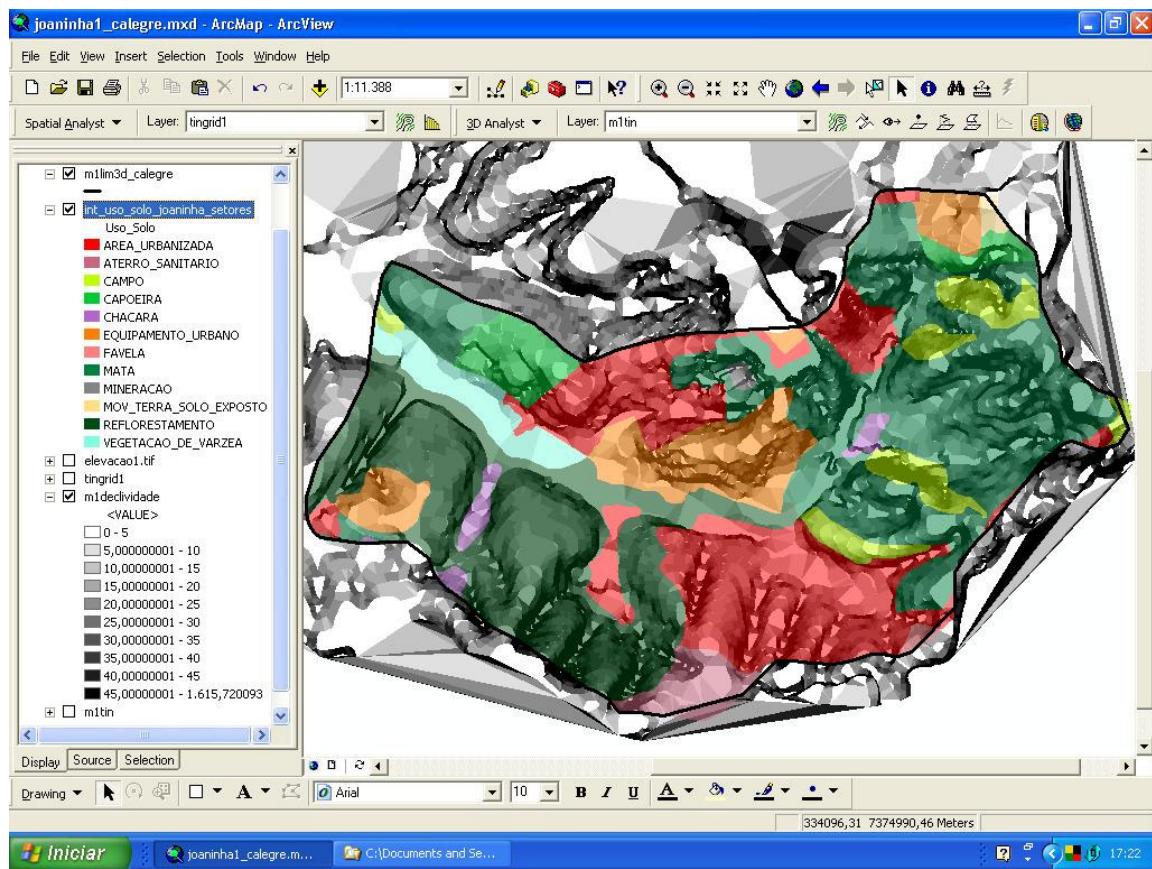


Figura 33

A escolha de locais apropriados para a implantação da ETE requer não apenas locais de baixa declividade, mas também usos do solo compatíveis. Dos doze tipos presentes na microbacia associada ao sítio Joaninha, indicados na Figura 33, três foram considerados viáveis para a construção da ETE: Campo, Capoeira e Mov_Terra_Solo_Exposto.

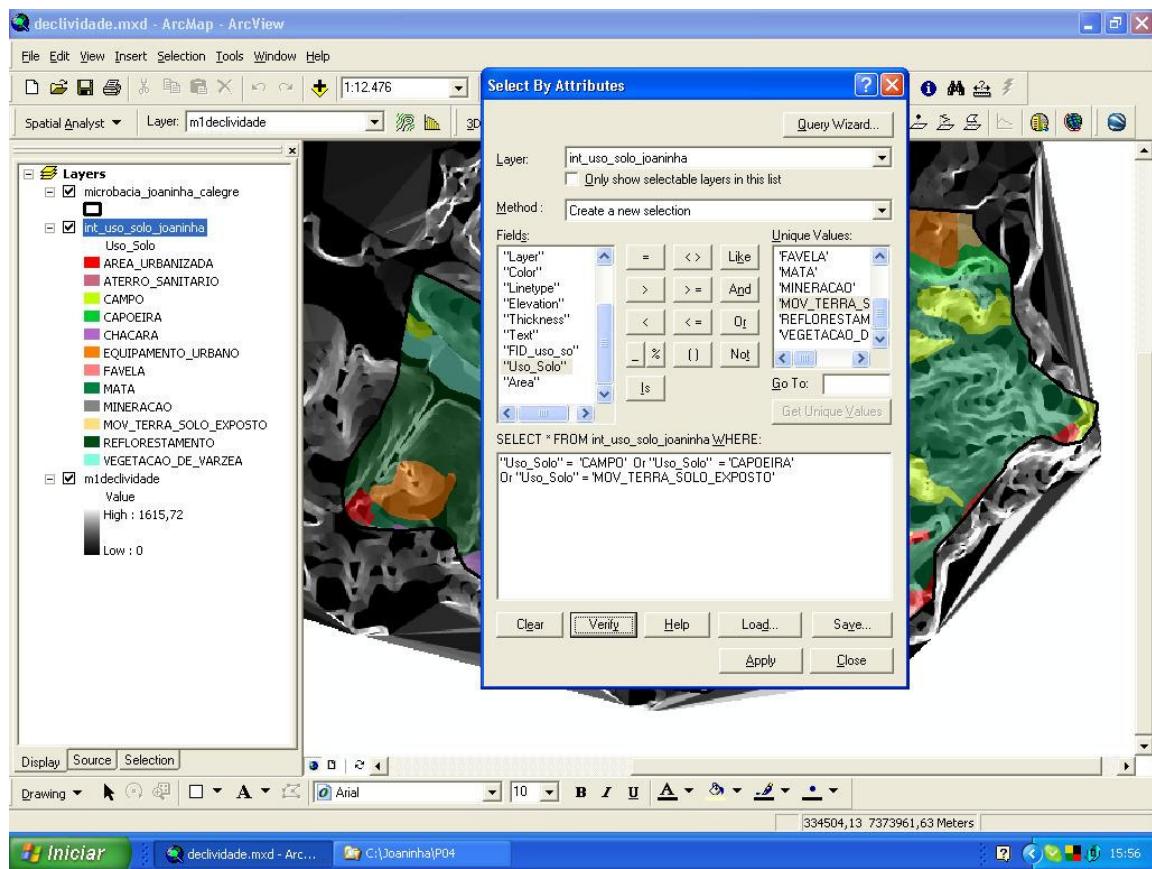


Figura 34

A análise é facilitada se forem desconsiderados os demais usos. A Figura 34 ilustra a seleção dos usos desejados por meio da execução de uma Query – Select by Attributes.

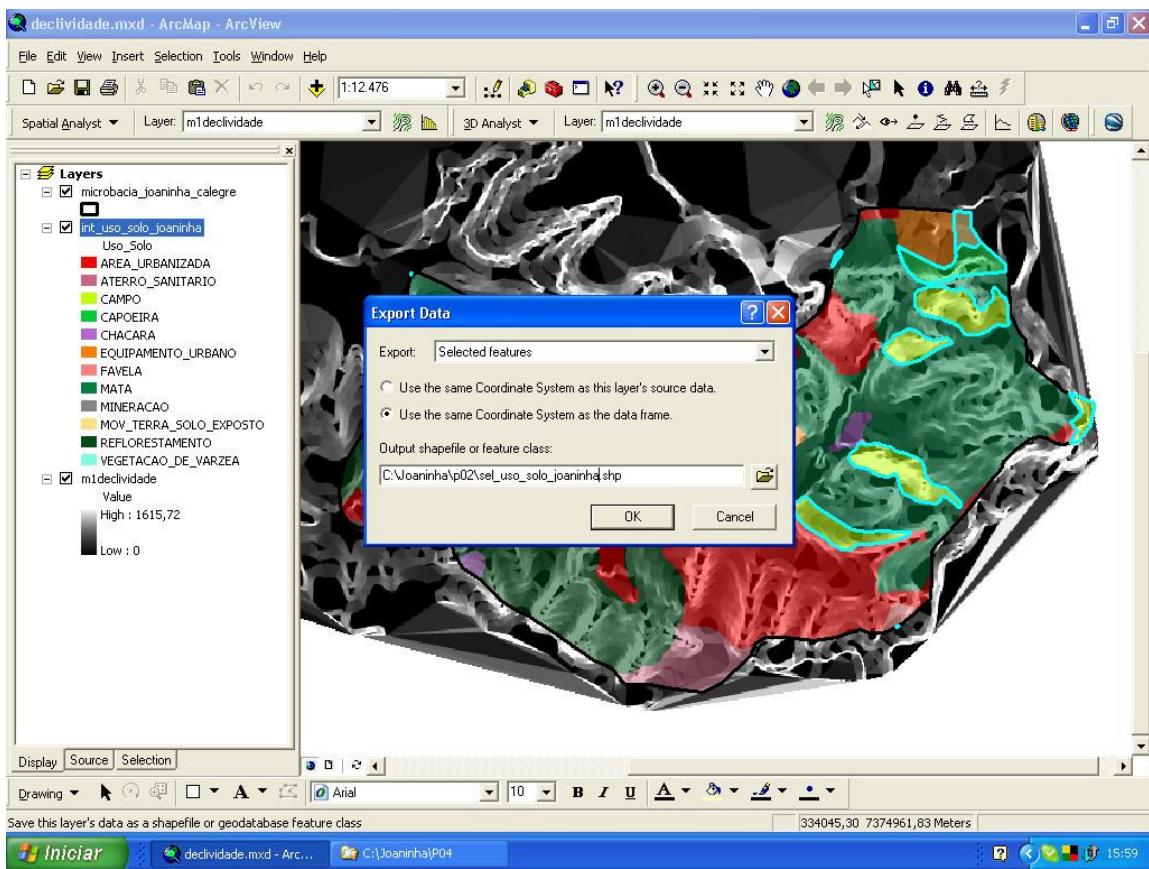


Figura 35

O resultado (Selected features) foi exportado como um novo layer e shapefile, intitulado sel_uso_solo_joaninha.shp, conforme mostra a Figura 35.

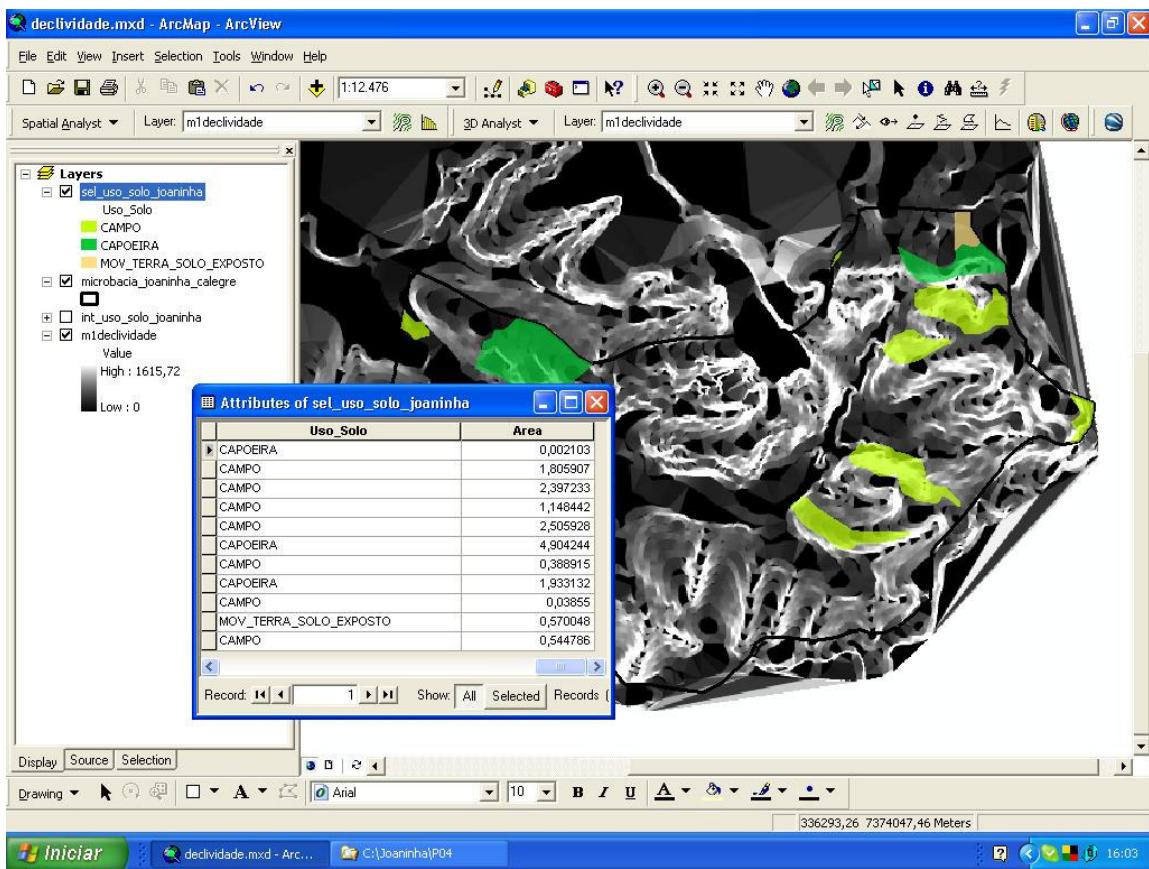


Figura 36

O layer *sel_uso_do_solo* foi carregado e tornado visível enquanto que o layer *int_uso_solo_joaninha* foi desligado. A Figura 36 mostra também a visualização das áreas (em hectares) dos polígonos correspondente aos três tipos de uso do solo selecionados.

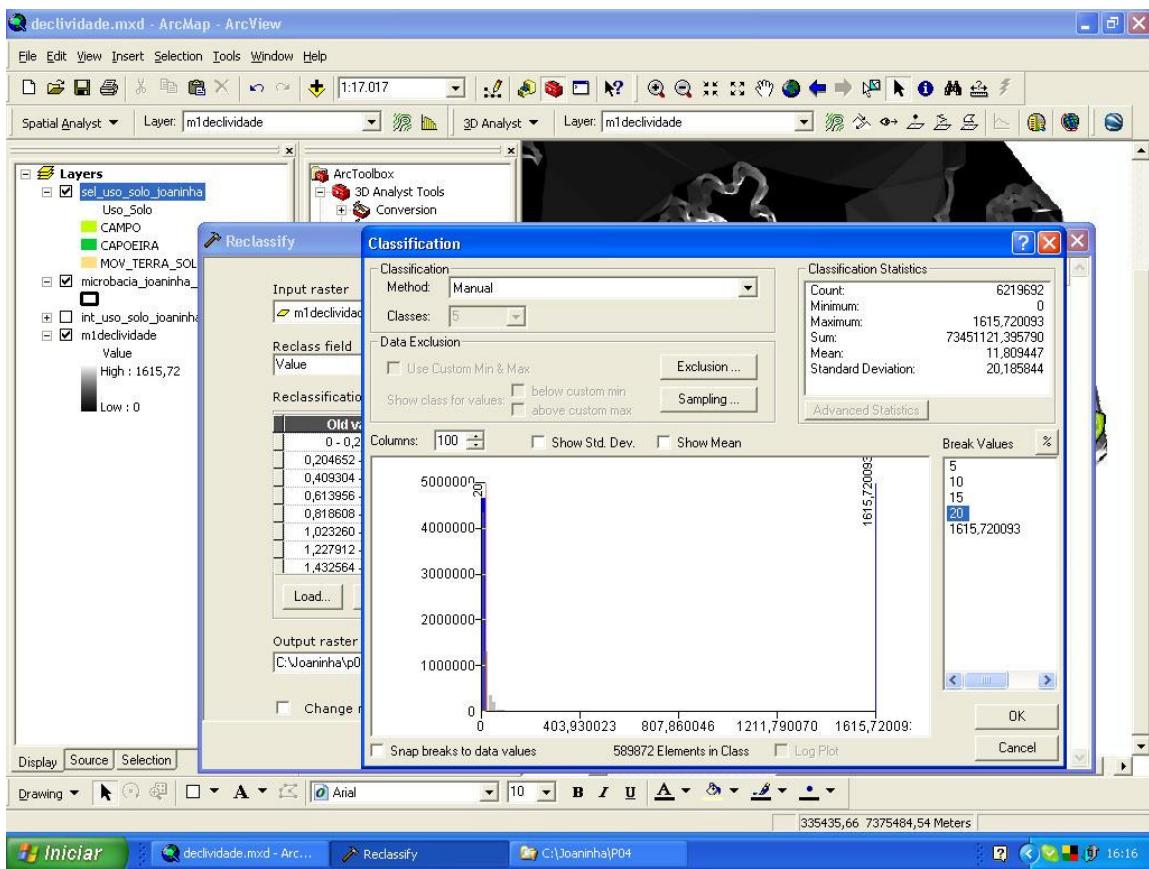


Figura 37

Para a escolha dos locais de construção da ETE interessam as regiões planas ou pouco inclinadas, até 10%. Áreas de inclinações maiores serão aceitas apenas se forem pequenas e inseridas nas áreas maiores, portanto passíveis de terraplenagem.

O mapa de declividades foi reclassificado em 5 categorias: até 5%, até 10%, até 15%, até 20% e maior do que 20% (até 1615.720093%), conforme mostra a figura 37.

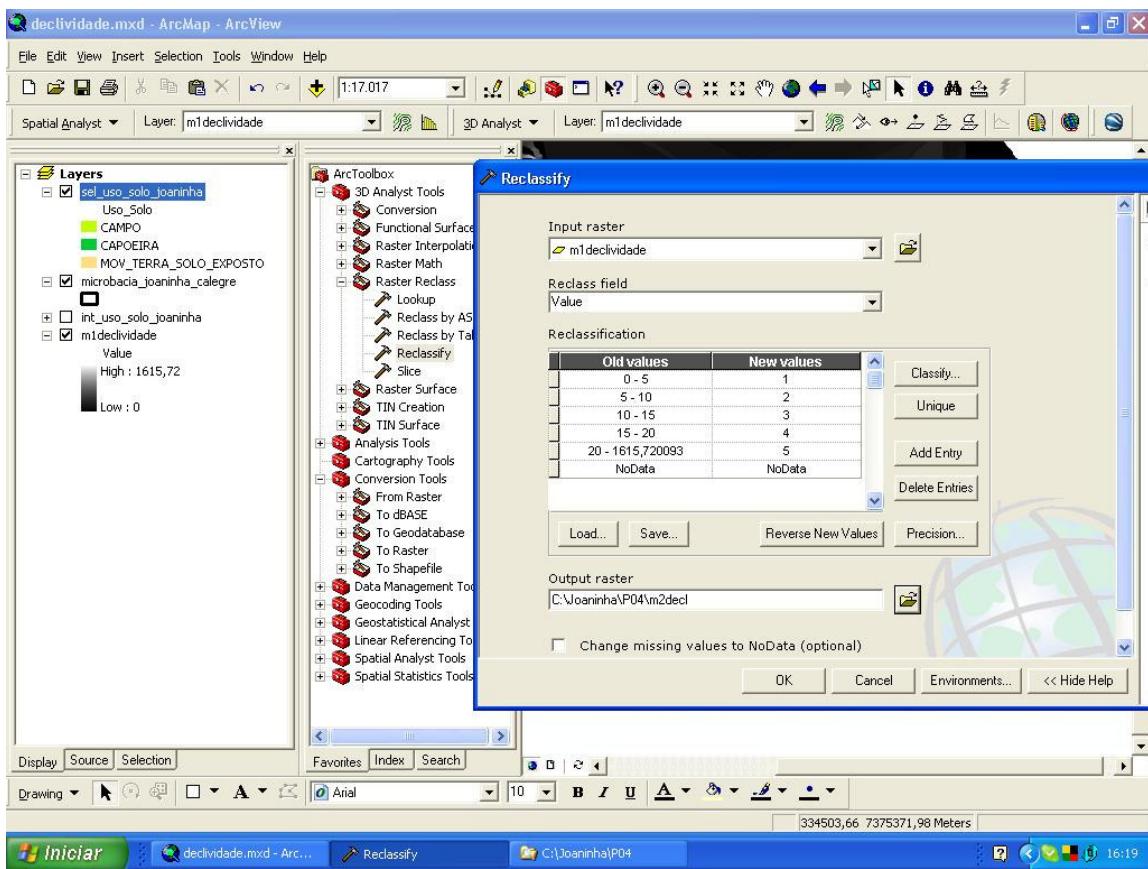


Figura 38

As novas categorias receberam os valores ordinais um a cinco segundo os intervalos de declividade, conforme indicado na Figura 38. O novo valor 1 corresponde ao intervalo 0-5%, o valor 2 corresponde ao intervalo 5-10%, o valor 3 corresponde ao intervalo 10-15%, o valor 4 corresponde ao intervalo 15-20% e o valor 5 corresponde ao intervalo 20-1615.720093%. A reclassificação gerou novo raster de nome m2decl.

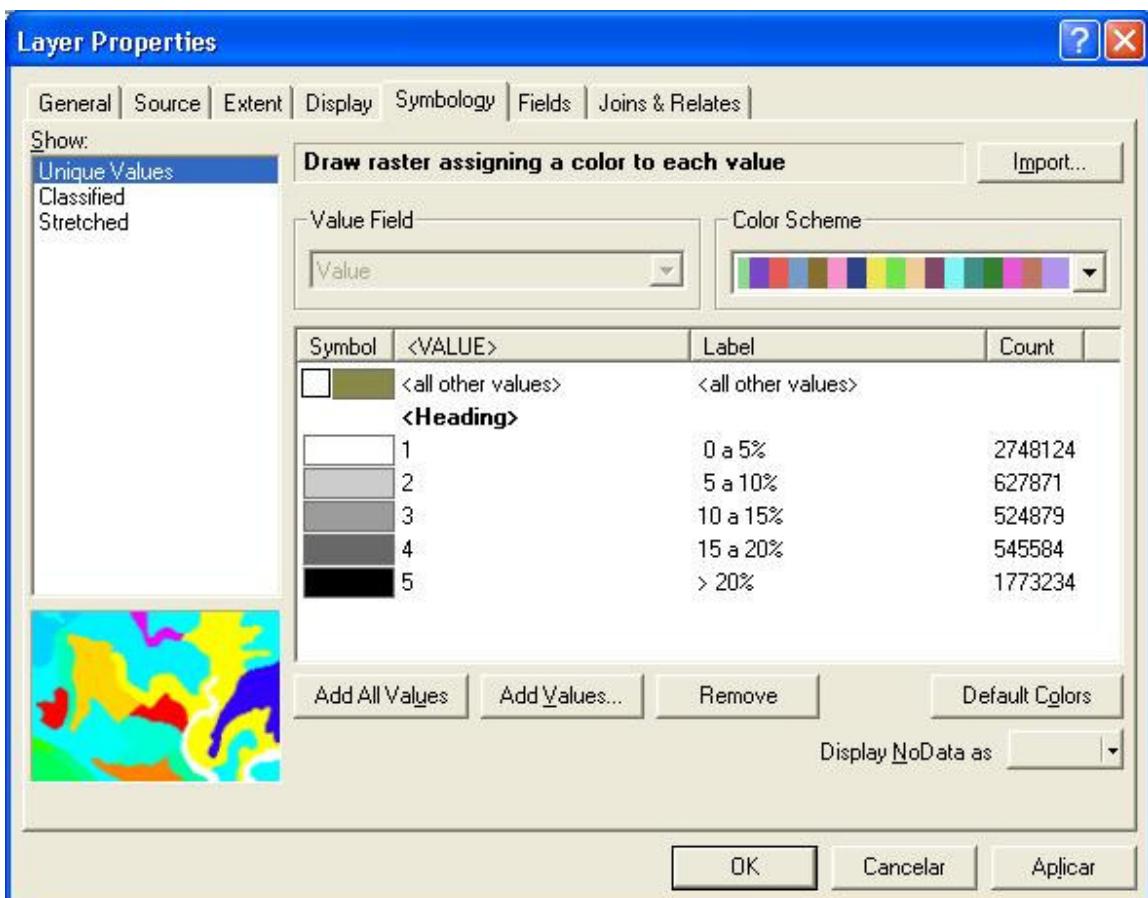


Figura 39

Os intervalos foram preservados na forma de Label e escritos de forma que melhorasse a apresentação de legenda, conforme mostra a Figura 39. A coluna Count indica o número total de pixels da imagem raster de cada intervalo definido na reclassificação.

A escolha de locais para a construção da ETE requer áreas contíguas de pixels de mesma categoria de declividade. Ainda que cada pixel corresponda a 1m², tal análise é mais eficiente se os pixels contíguos de mesma categoria de declividade forem traduzidos em polígonos em formato vetorial.

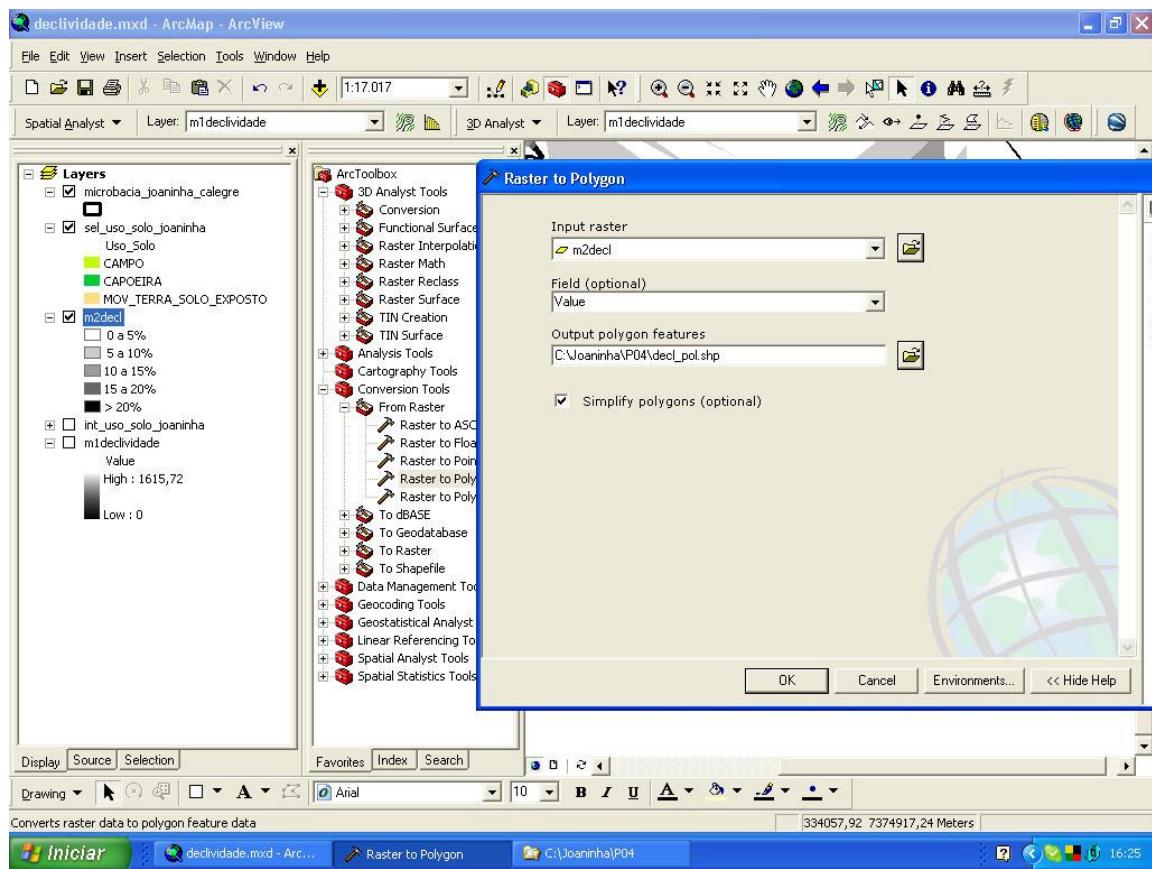


Figura 40

A transformação do mapa de declividade de imagem raster (pixels) do layer m2decl para polígonos em formato vetorial (shapefile decl_pol.shp) foi obtida com a ferramenta Raster to Polygon do conjunto de ferramentas Conversion Tools – from Raster do ArcToolbox, conforme mostra a Figura 40.

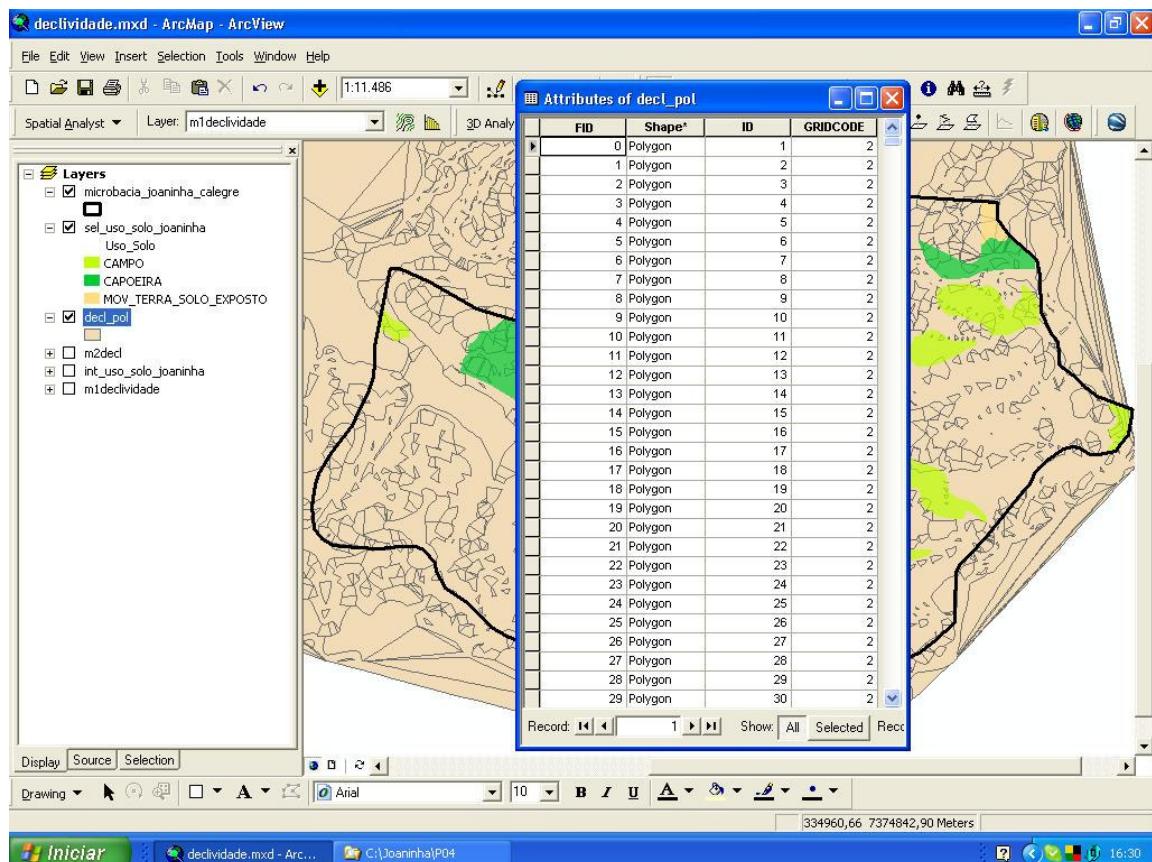


Figura 41

Os polígonos resultantes da conversão, no layer e shapefile decl_pol.shp, preservaram na coluna Gridcode as classes de declividade dos pixels do layer m2decl do qual originaram, conforme mostra a Figura 41.

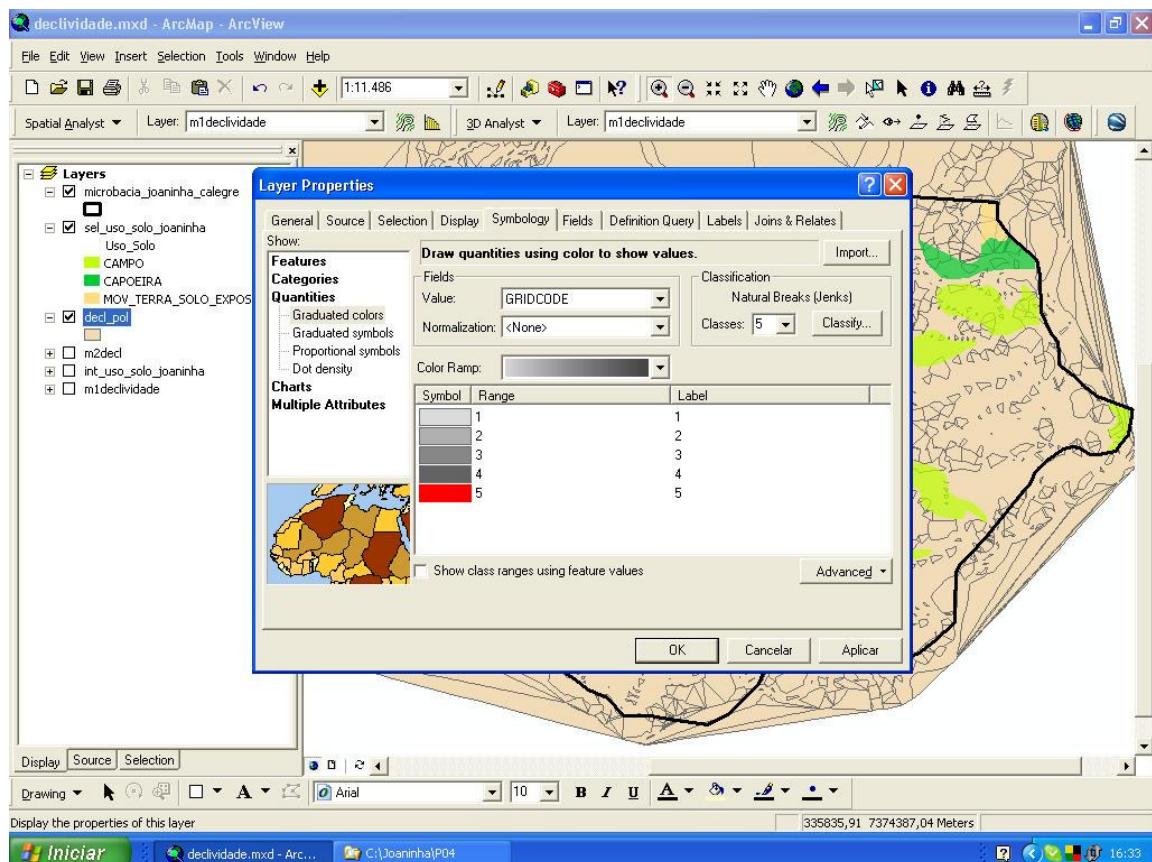


Figura 42

O passo seguinte foi utilizar uma graduação de cinza para os intervalos de declividade associados aos polígonos, alterada para vermelho (depois alterada para salmão) quando ela é maior do que 20% e branca quando é menor do que 5%, conforme mostram as figuras 42 e 43.

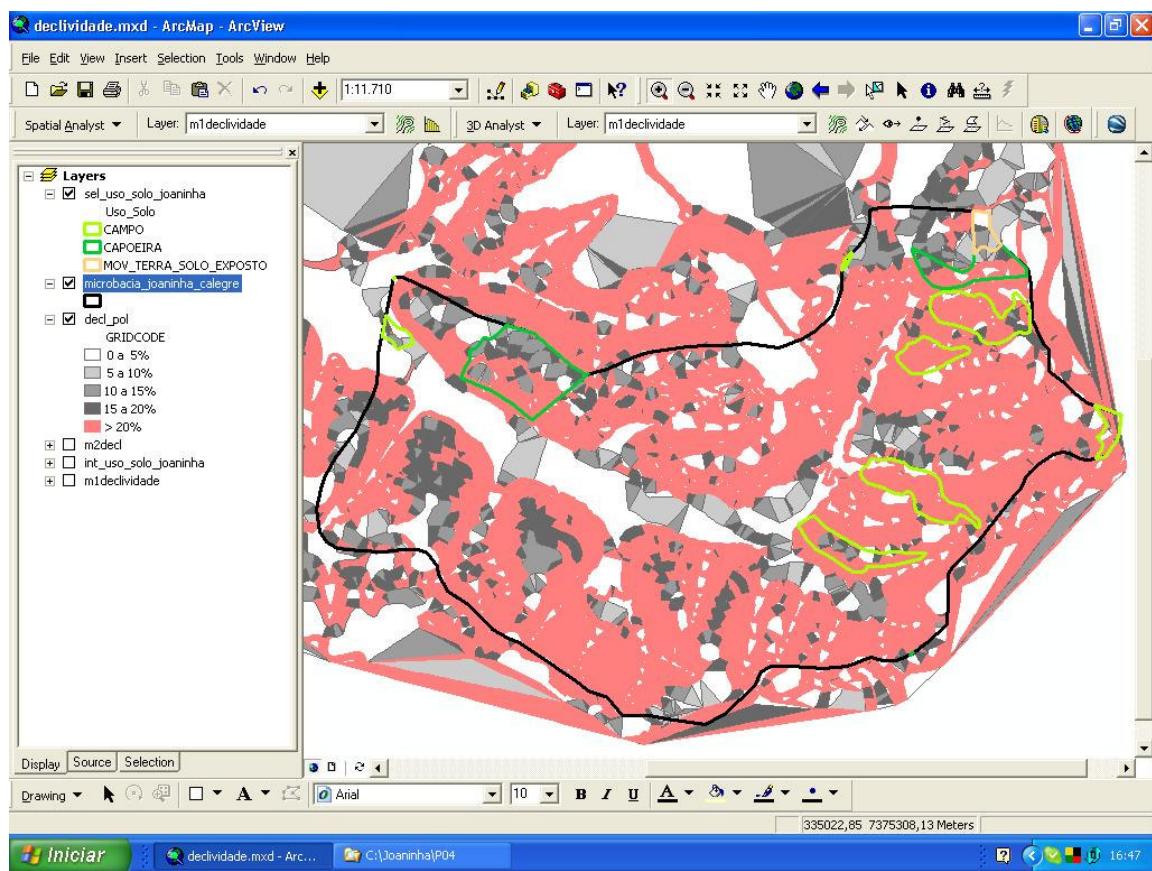


Figura 43

Para facilitar a escolha de locais para a ETE, as bordas dos polígonos representativos dos tipos de uso do solo selecionados foram ressaltadas e seus preenchimentos foram removidos, conforme indicado na Figura 43.

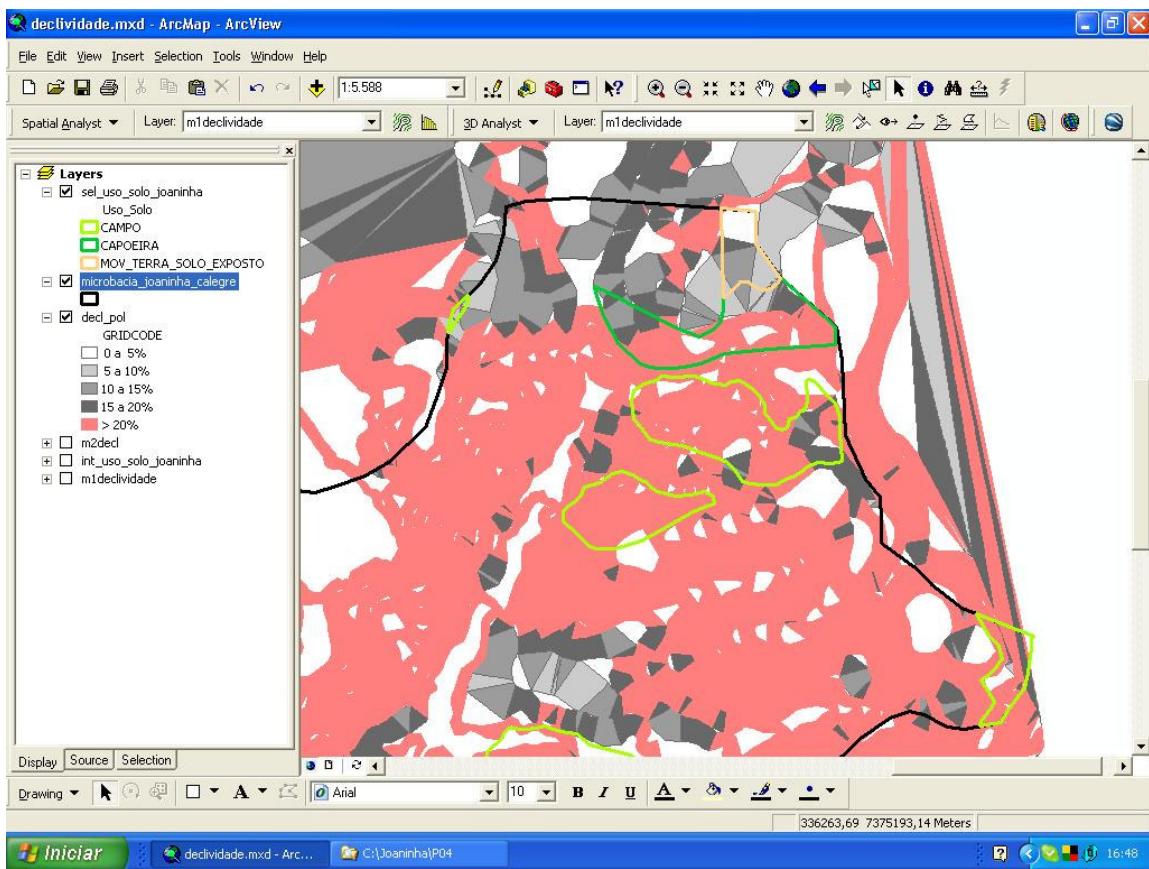


Figura 44

A Figura 44 indica diversos locais, da microbacia, não apropriados à construção, próximos à Rodovia dos Imigrantes (não mostrada), pelos seguintes motivos:

- Alta declividade;
- Maiores cotas da bacia – o esgoto teria de ser recalcado dos locais mais baixos.

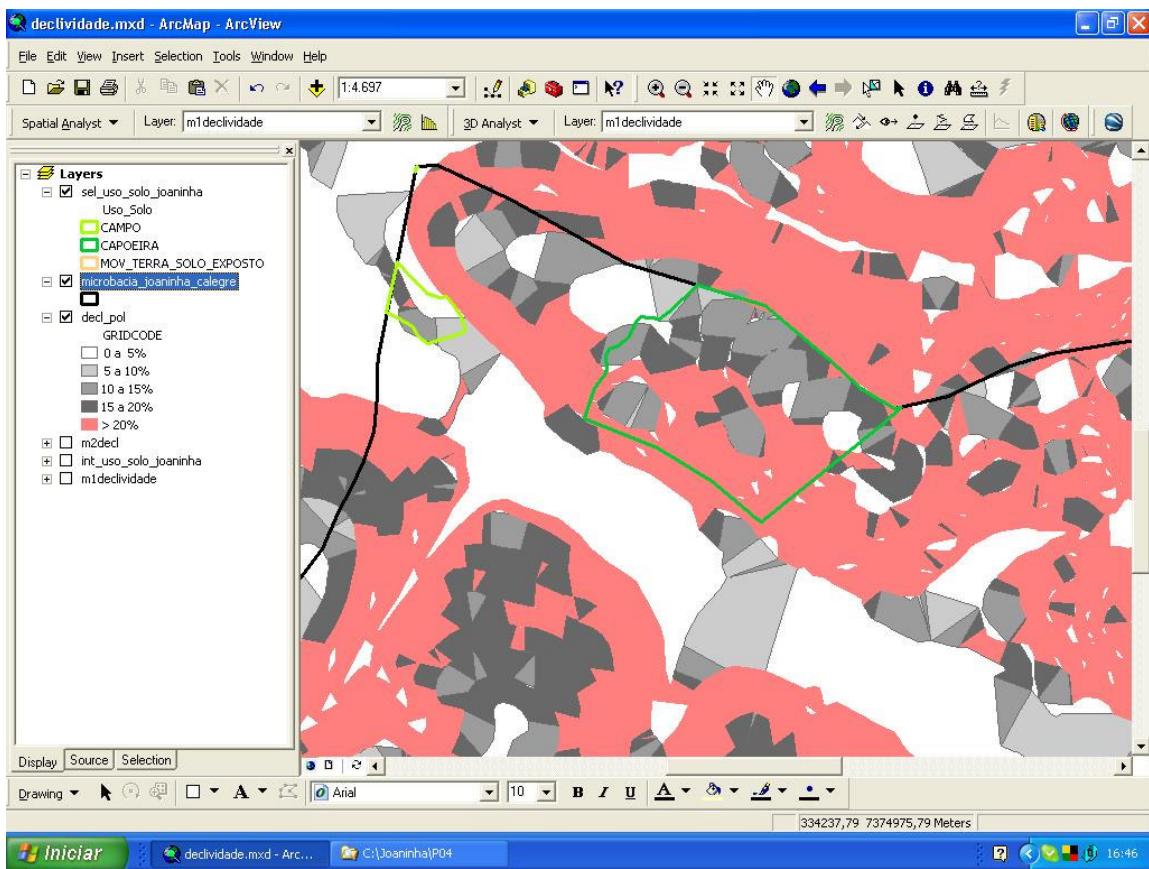


Figura 45

A Figura 45 indica um local apropriado à construção, próximo à Represa Billings (não mostrada), pelos seguintes motivos:

- Predominância de baixas declividades – áreas menores de maior declividade podem ser terraplenadas;
- Menores cotas da bacia – o esgoto não necessita ser recalculado, apenas flui por efeito da gravidade.

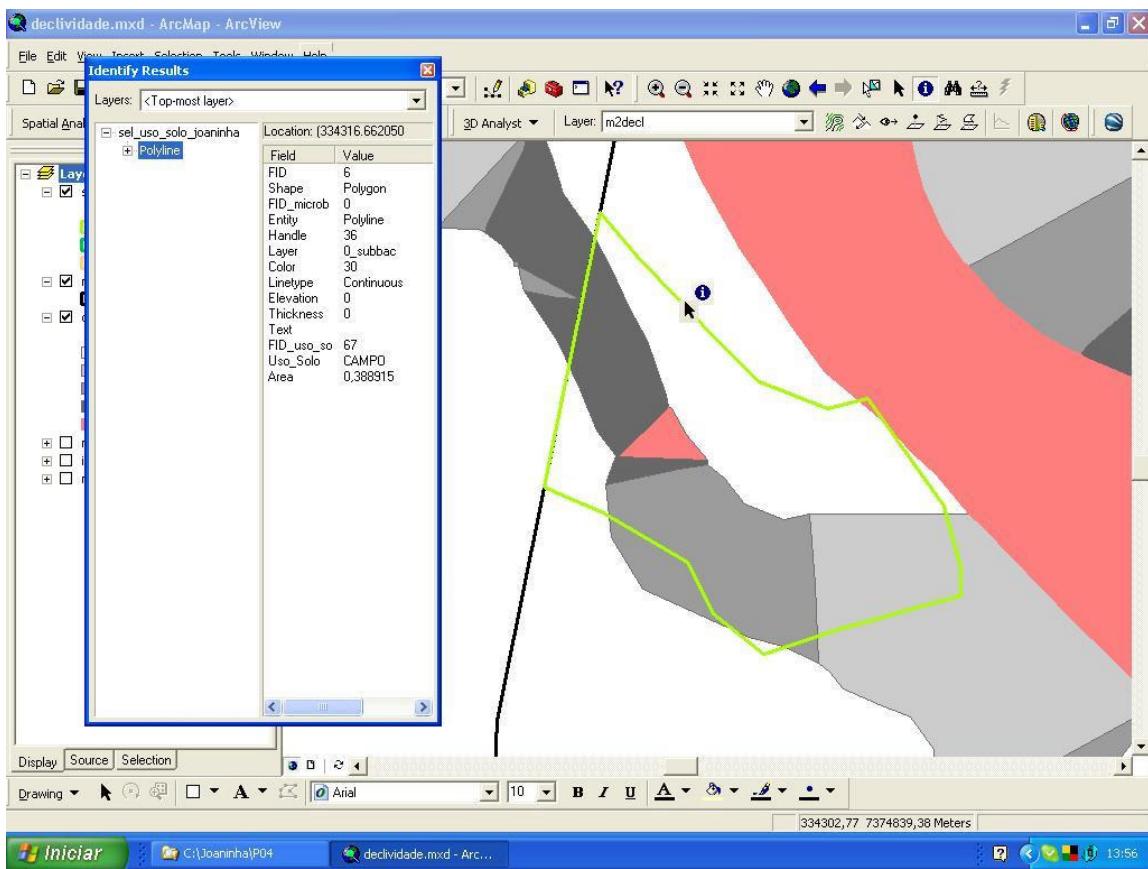


Figura 46

O local candidato possui área aproximada de 3,9 hectares, ou seja, 39.000 m², conforme indicado na Figura 46, em princípio suficiente para a construção de uma ETE que atenda à população da microbacia do sítio Joaninha.

A análise descrita até este ponto não é determinante da escolha de um local, tampouco para a decisão de construir uma ETE dentro dos limites da microbacia do sítio Joaninha. Existem inúmeras variáveis que devem ser analisadas, para tal decisão.

Os dados processados até este ponto do texto, visualizados por meio de mapas e tabelas, contém lacunas de informação, algumas das quais podem ser sanadas pela sobreposição de imagens aéreas, obtidas de aeronaves ou satélites artificiais.

Um recurso colocado recentemente à disposição do público em geral são as fotos aéreas e de satélites no sítio eletrônico da empresa Google, visualizadas por meio do aplicativo Google Earth.

Para sobrepor os polígonos de uso do solo e limites da microbacia do sítio Joaninha é necessário que suas coordenadas sejam convertidas da referência atual para aquela utilizada no Google Earth, a WGS 1984, que é a mesma do sistema GPS.

Tal conversão não pode ser feita da forma simples como anteriormente, pois requer não só a mudança de geóide como também de uma projeção para coordenadas geográficas.

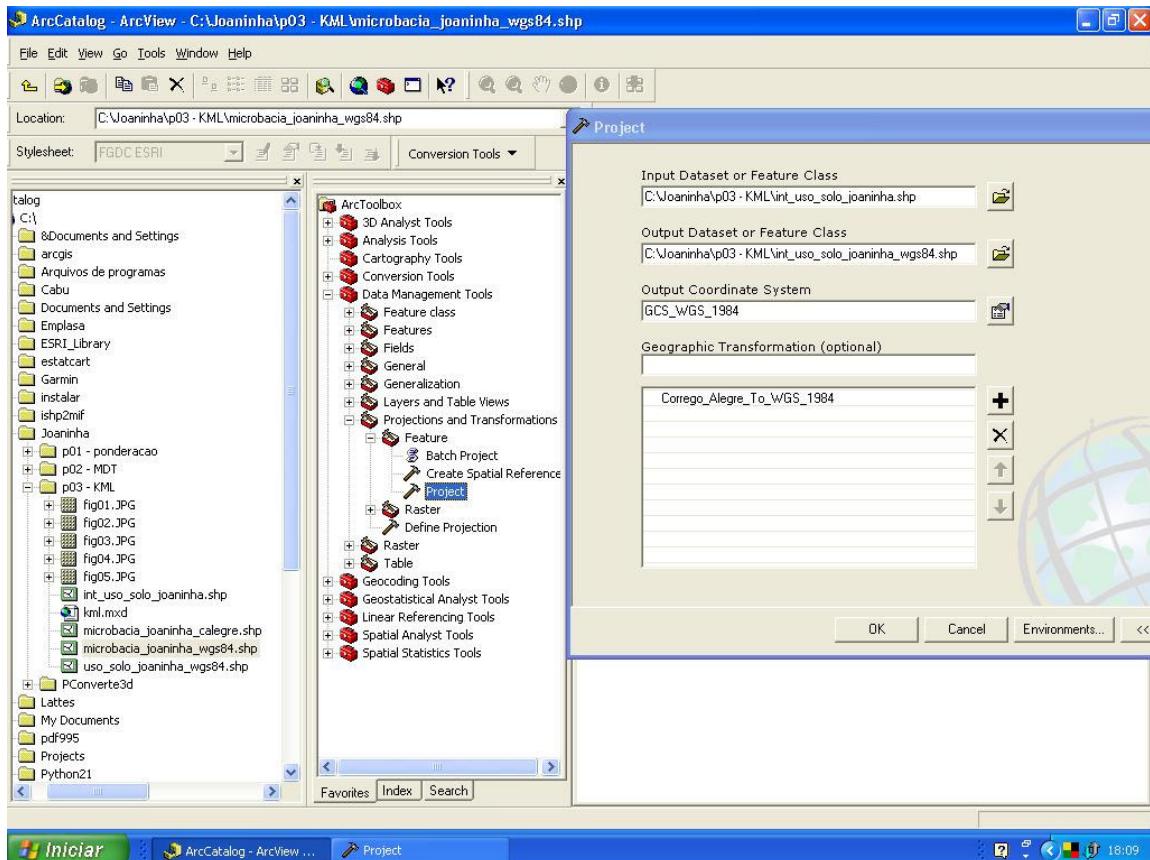


Figura 47

A conversão foi feita por meio da ferramenta Project do conjunto de ferramentas Data Management Tools - Projections and Transformations – Feature do ArcToolbox, conforme mostram as figuras 47 e 48.

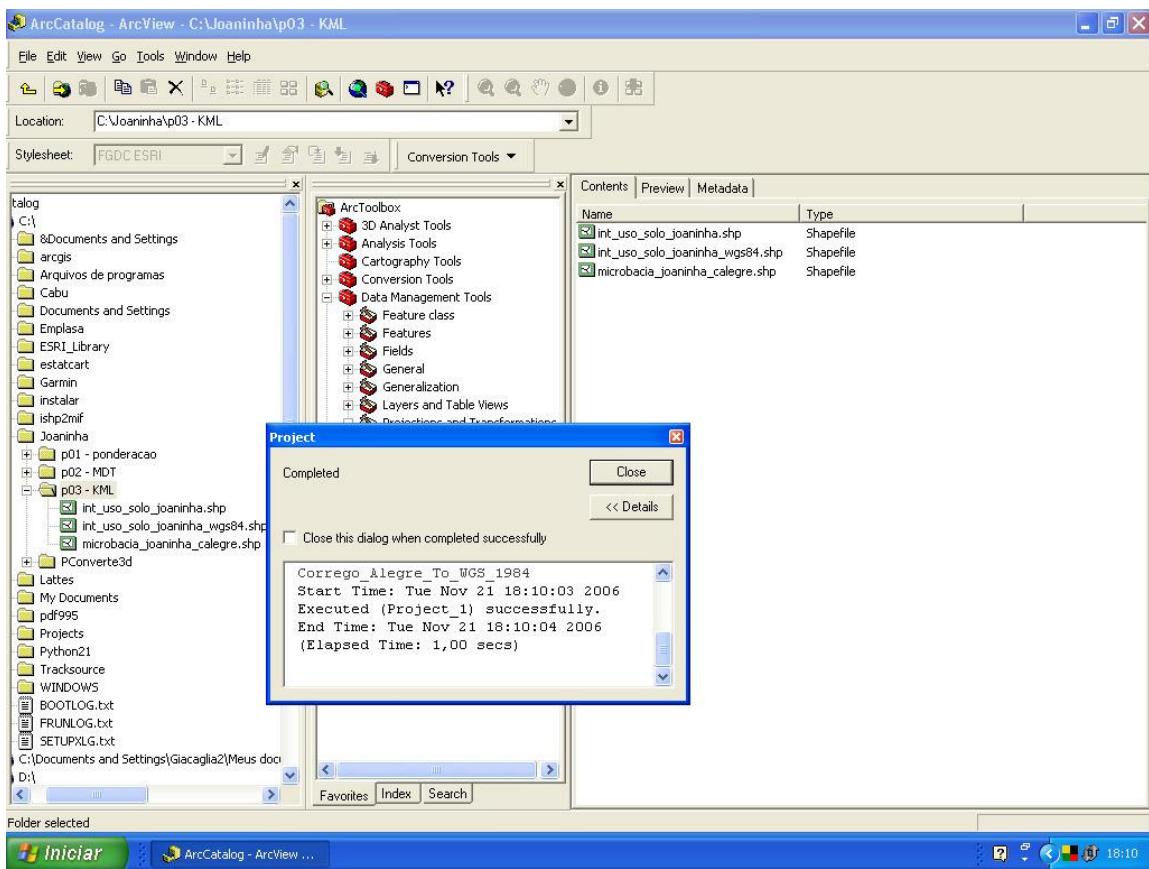


Figura 48

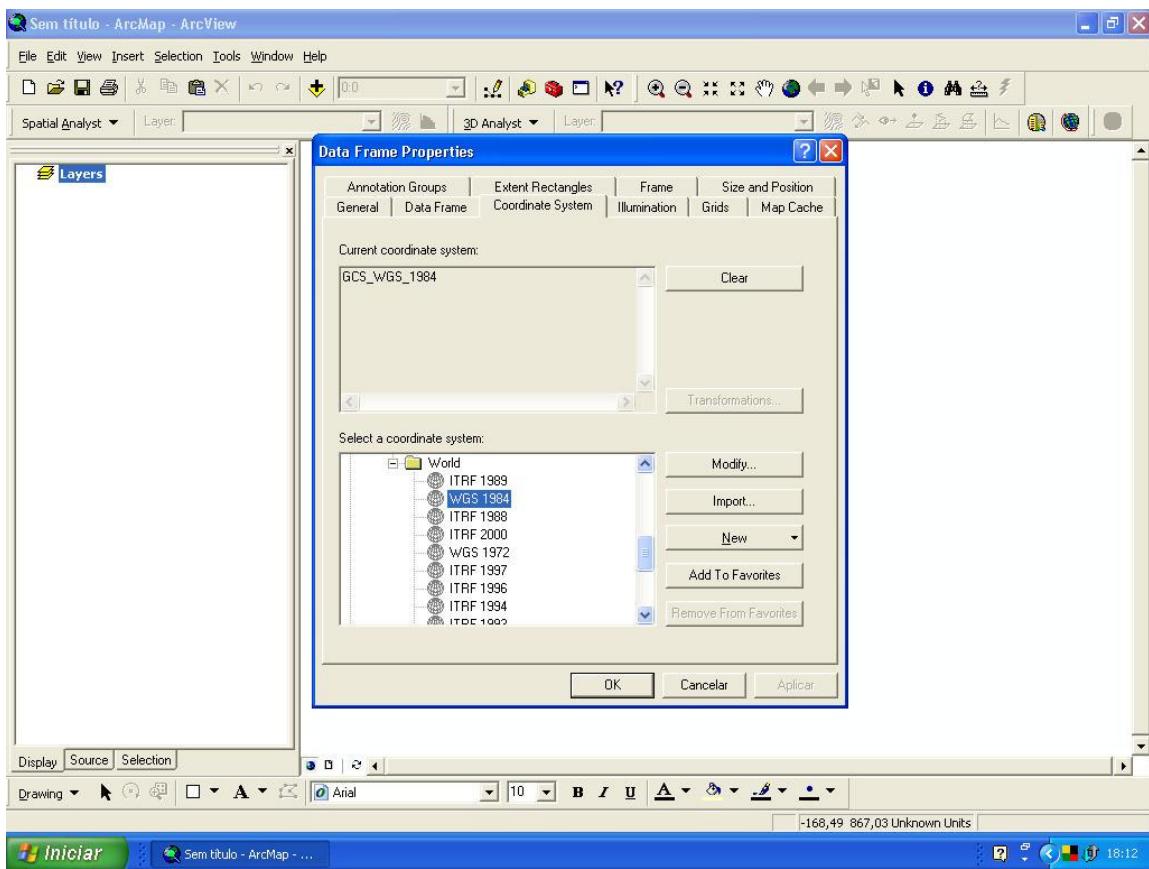


Figura 49

Para visualizar os mapas convertidos foi criado um novo mapa, cujo Data Frame principal foi associado ao sistema de coordenadas WGS 1984, conforme mostra a Figura 49.

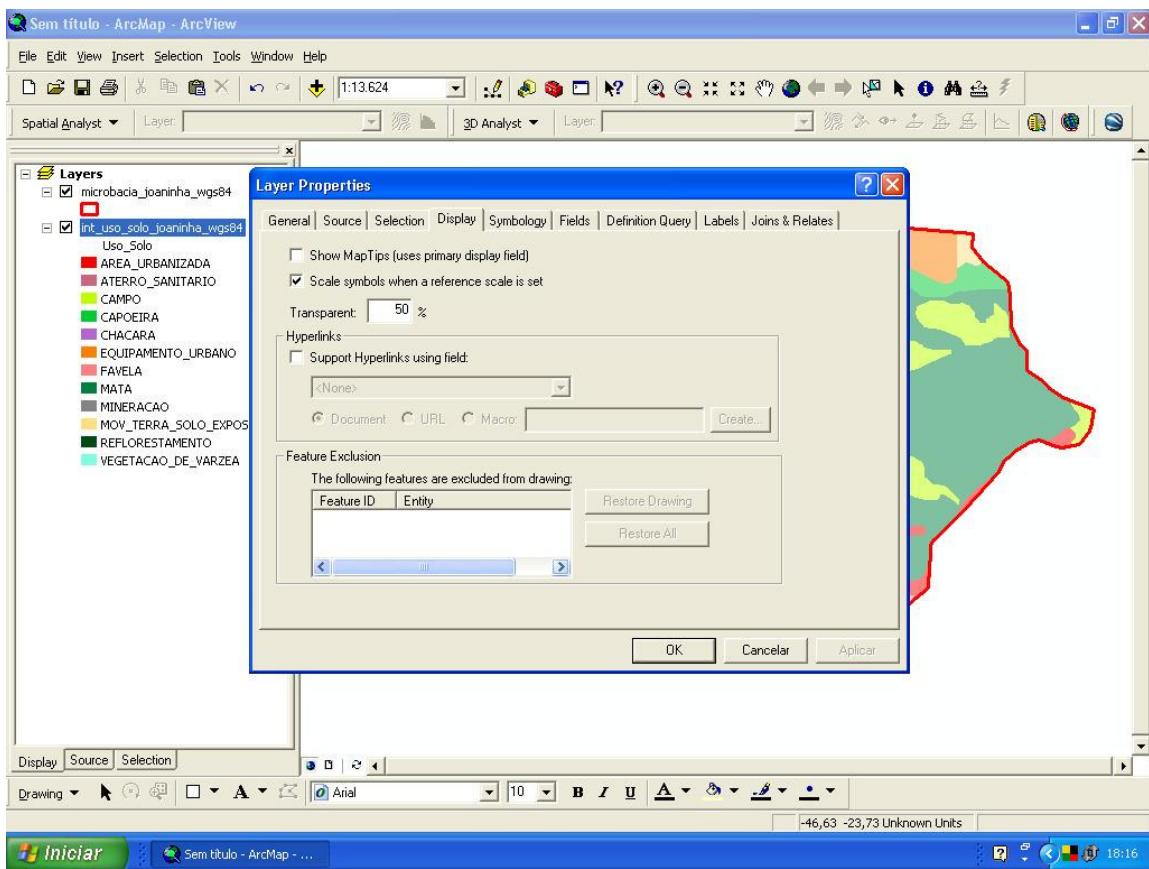


Figura 50

Os *layers* correspondentes aos arquivos cujas coordenadas foram convertidas para a referência WGS 1984 foram carregados, conforme mostra a Figura 50. Os preenchimentos dos polígonos, coloridos conforme o tipo de uso do solo, foram tornados parcialmente transparentes.

Para gerar o arquivo em formato KML, requerido pelo aplicativo Google Earth, foi instalado um Plug-in (extensão de aplicativo) obtido do sítio eletrônico da empresa ESRI. As figuras 51 e 52 mostram a geração do arquivo formato KML a partir dos polígonos semitransparentes de uso do solo.

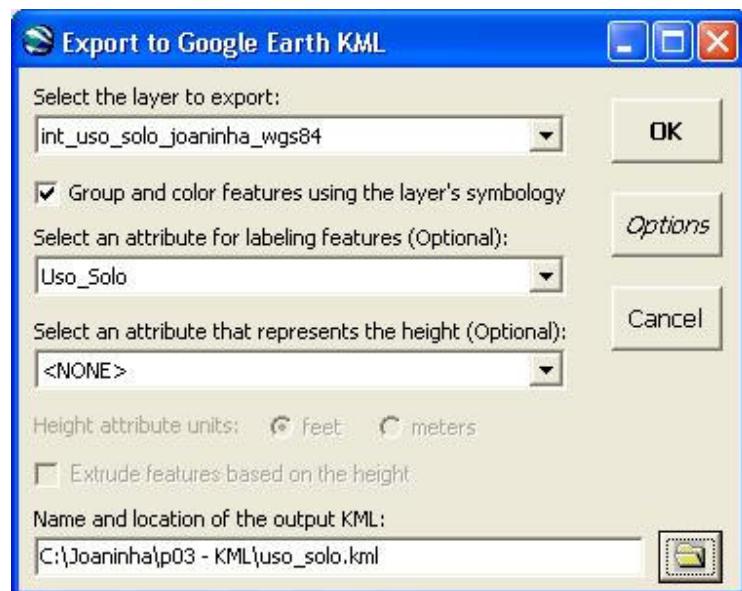


Figura 51

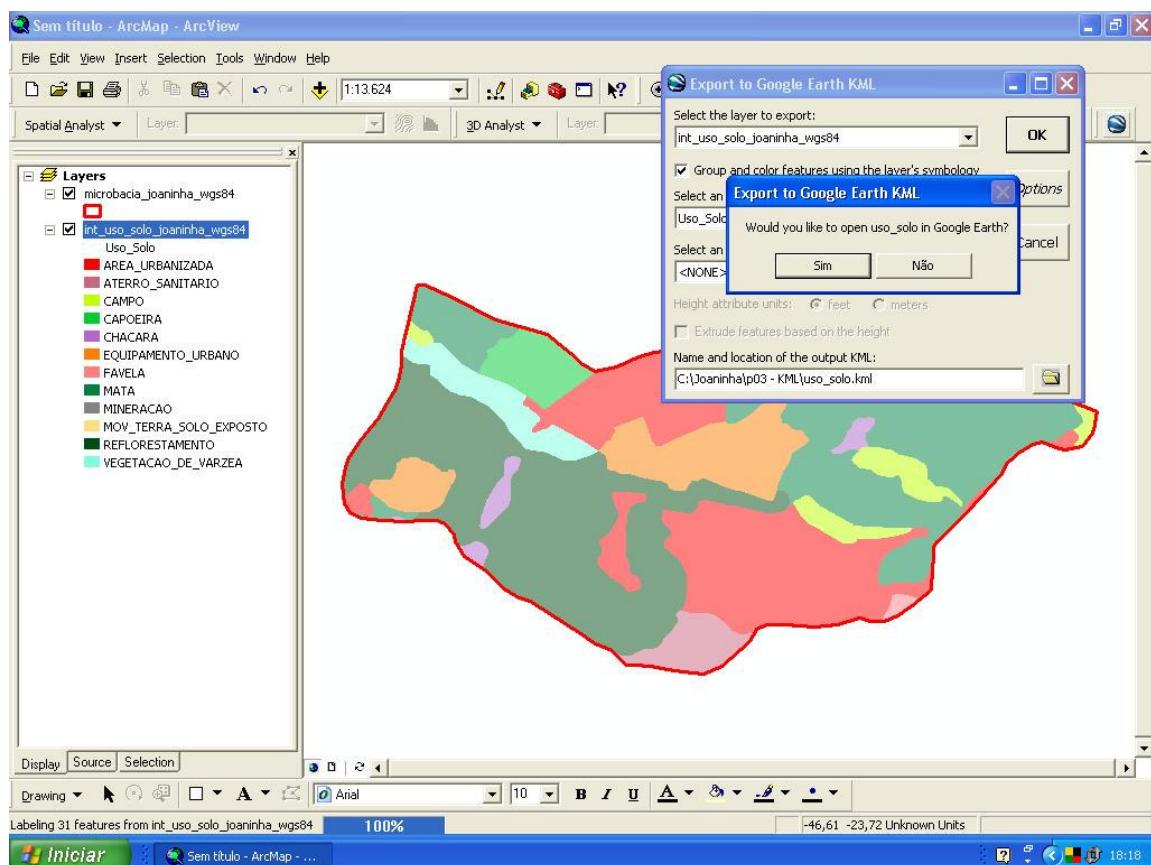


Figura 52

A Figura 53 corresponde ao resultado da conversão dos polígonos de uso do solo em formato KML e sua sobreposição às imagens do Google.

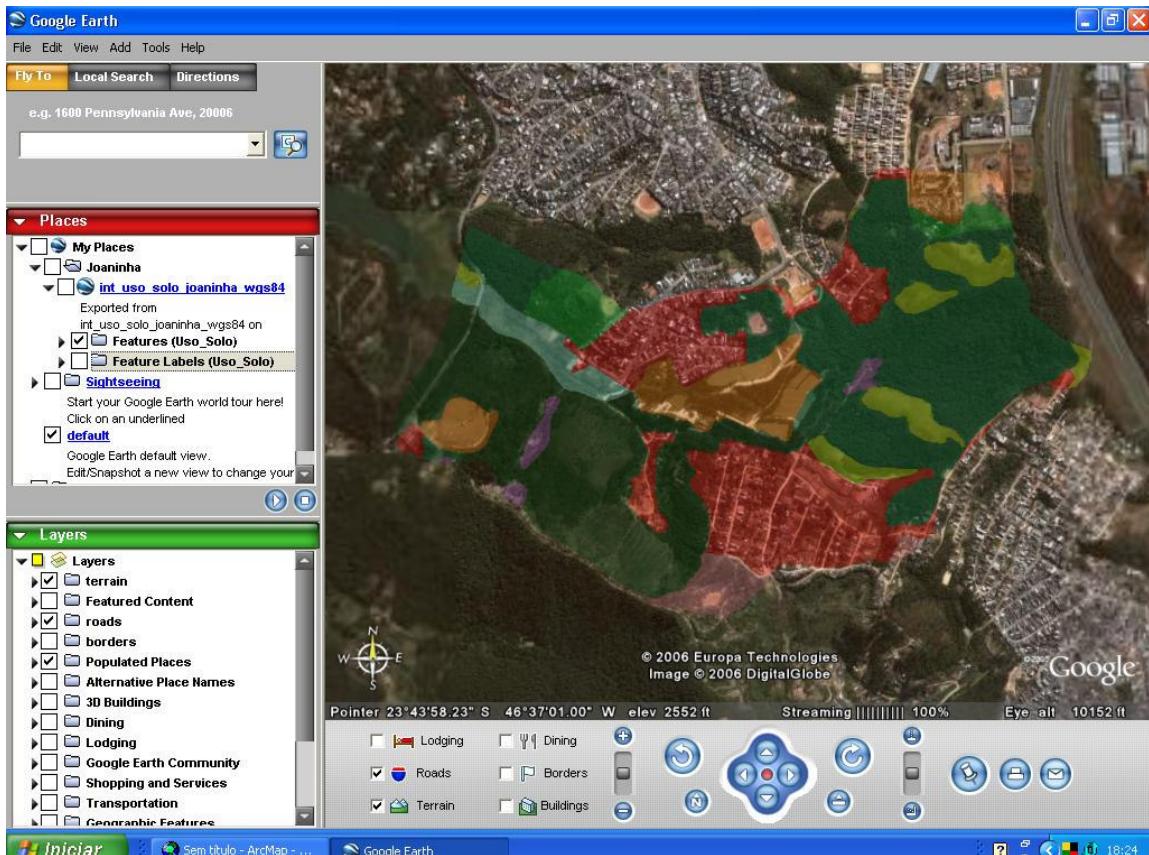


Figura 53

As figuras 54 e 55 mostram a geração do arquivo formato KML a partir do polígono (sem preenchimento) representativo do contorno da microbacia do sítio Joaninha.

A Figura 56 é uma ampliação da tela do aplicativo Google Maps, mostrando apenas as imagens sobrepostas. Nela pode-se ver que o local que ahavia sido escolhido para construção da ETE é acessível por uma rua, o que favorece também o acesso à energia elétrica.



Figura 54

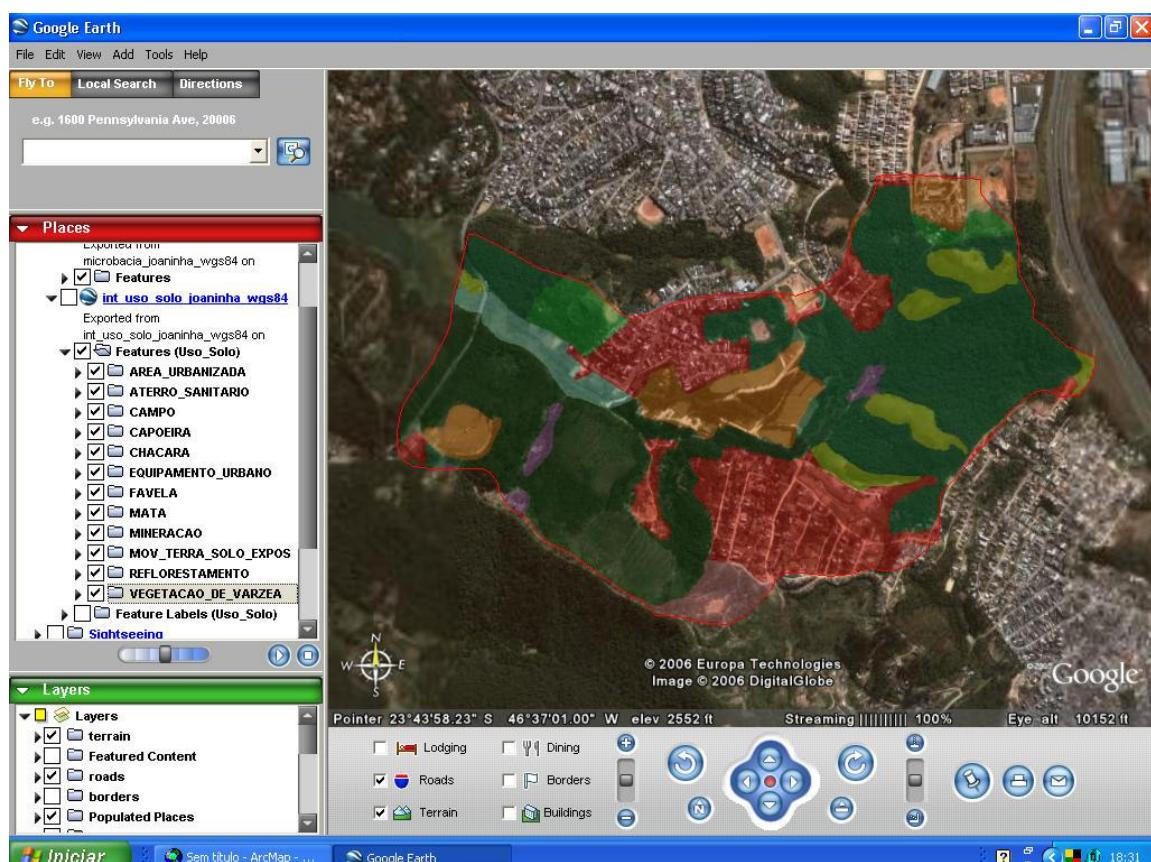


Figura 55



Figura 56